This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

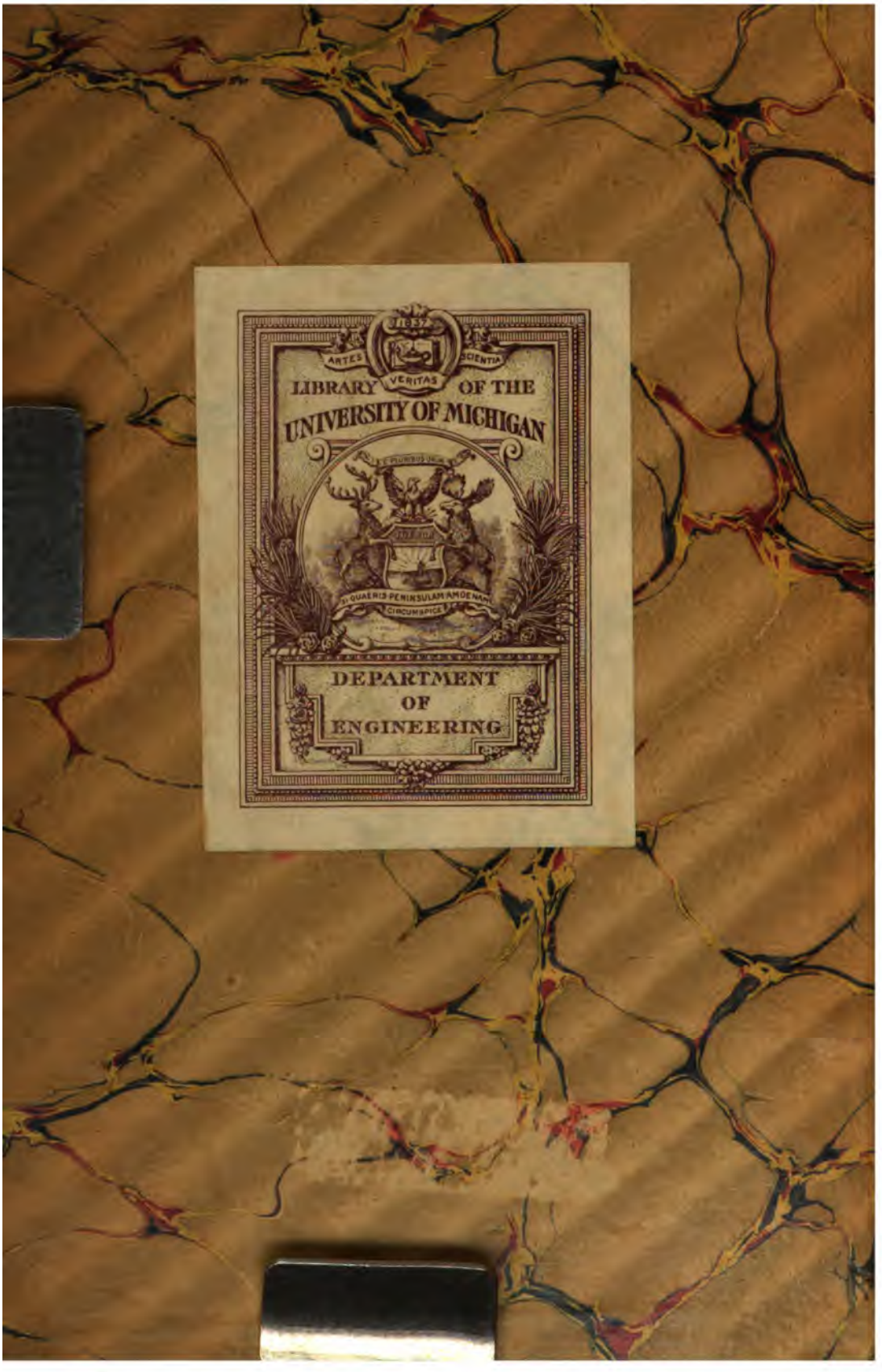
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

B 426845 DUPL


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
.S68

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

PARIS. — P.-A. BOURDIER ET C^ie^, RUE MAZARINE, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

0420

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1863

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

26, RUE BUFFAULT, 26

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

Eugène LACROIX, Éditeur

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

QUAI MALAQUAIS, 15

1863

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1863)

N° 21

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Installation des nouveaux membres du Bureau et du Comité.* (Voir le résumé de la séance du 9 janvier, page 21.)

2° *Décès de M. Petit de Coupray.* (Voir le résumé de la séance du 23 janvier, page 33.)

3° *Souscription en faveur des ouvriers sans travail dans l'industrie cotonnière.* (Voir la séance du 23 janvier, page 34.)

4° *Tentatives de production et d'application des aciers fondus, faites au chemin de fer du Nord*, par M. Nozo. (Voir les résumés des séances des 23 janvier, 20 février, 6 et 20 mars, pages 34, 52, 56 et 65.)

5° *Navigation par la vapeur sur les canaux*, par M. Faure. (Voir les résumés des séances des 6 et 20 février, pages 39 et 50.)

6° Écluses à sas mobile, par M. Vuigner. (Voir le résumé de la séance du 20 mars, page 65.)

163344

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Les numéros d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre 1862, du *Bulletin de la Société de l'industrie minérale.*

2° De M. César Jolly, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure avec atlas sur la *Construction des planchers et poutres en fer.*

3° Les numéros 7, 8, 9, 10, 11 et 12 de la *Revue d'architecture et des travaux publics.*

4° De M. de Comberousse, membre de la Société, un exemplaire de son *Cours de mathématiques.*

5° De M. Émile Trélat, membre de la Société, un exemplaire de ses *Études architecturales*, à Londres, en 1862.

6° De M. de Fernex, membre de la Société, une brochure intitulée : *Halian irrigation canal Company* (*canal Cavour*).

7° De M. Desnos, membre de la Société, un exemplaire des numéros de janvier, février et mars 1863, de son *Journal l'Invention.*

8° Les numéros de janvier, février et mars, du *Bulletin de la Presse scientifique des Deux-Mondes.*

9° Les numéros de janvier, février et mars 1863, du *Bulletin de la Société industrielle d'Amiens.*

10° Les numéros de novembre, décembre 1862 et janvier 1863, du *Bulletin de la Société d'encouragement.*

11° De la Société des *Architectes et Ingénieurs du royaume de Hanovre*, un exemplaire de leur *Bulletin* des années 1855, 1856, 1857, 1858, 1859, 1860, 1861 et 1862.

12° Les numéros de janvier, février et mars, du journal *The Engineer.*

13° Le numéro de juillet et août des *Annales des ponts et chaussées.*

14° De M. Delonchant, membre de la Société, une note sur un *Nouvel appareil de graissage à l'huile*, construit par MM. Sautreuil et Cie, à Fécamp.

15° Le numéro de juillet du *Bulletin de l'institution of Mechanical Engineer.*

16° Les numéros de décembre 1862, janvier et février 1863, des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

17° Le numéro de novembre et décembre des *Annales télégraphiques.*

18° De M. Louis Lazare un exemplaire de la 2e livraison de ses *Publications administratives.*

19° De M. Grateau, ingénieur civil des mines, un exemplaire de sa brochure sur *La fabrication de l'acier en Angleterre.*

20° De la Société des ingénieurs civils de Londres, un exemplaire de son *Bulletin* de l'année 1860.

21° De M. Oppermann, les numéros de janvier, février et mars, des *Nouvelles Annales de la Construction* et du *Portefeuille économique des machines.*

22° Les numéros des 4e et 5e livraisons de 1862 des *Annales des Mines.*

23° De M. Évrard, membre de la Société, une note sur *Un essieu creux à graissage continu*, appliqué à un chariot de mine.

24° Un exemplaire d'un extrait du rapport de M. Huet, ingénieur des ponts et chaussées, sur l'*Appareil aérohydrostatique* de M. Seiler.

25° Un exemplaire du Bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

26° Le numéro de janvier des *Annales de la Société des ingénieurs industriels de Madrid.*

27° De M. Noblet, éditeur, le numéro de la 6e livraison de sa *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

28° Le numéro de février et mars de la *Revue hebdomadaire des sciences*, intitulée *Les Mondes*, par M. l'abbé Moigno.

29° De M. Lacroix, éditeur, un exemplaire de ses *Annales du Génie civil*, année 1862, et un exemplaire du *Prix de règlement ou Tarif des travaux de jardinage*, par M. Lecoq.

30° De M. Ganneron, membre de la Société, un exemplaire du Mémoire de M. le marquis de Poncis sur les *Progrès de l'agriculture moderne dans la plaine du Forez.*

31° De M. Gaget, membre de la Société, une note sur l'*Usine de Sprink bank foundry*, de MM. Glennie et Cie, à Glasgow.

32° De M. Eugène Flachat, un mémoire sur la *Comparaison entre un profil de chemin de fer à inclinaisons de* 15 $^{m}/_{m}$ *et un profil à inclinaisons de* 25 $^{m}/_{m}$.

33° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, un *Tableau comparatif des consommations entre les machines fumivores et les autres machines de même type, faisant le même service sur le chemin de fer de l'Est.*

34° De M. Émile Barrault, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur le *Droit des inventeurs.*

35. Les numéros 11 et 12 de la *Revue d'architecture et des travaux publics.*

36° De M. Bergeron, membre de la Société, un exemplaire de son *Rapport sur les chemins de fer à bon marché.*

37° De M. le général Morin, président de la Société, un exemplaire de la 3e édition de son ouvrage sur la *Résistance des matériaux.*

38° De M. Vuigner, membre de la Société, un rapport sur les *Divers procédés employés pour racheter les chutes sur les canaux de navigation naturels ou artificiels.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de janvier :

MM. Bouquié, présenté par MM. Faure, Alcan et Tresca.
David, présenté par MM. Faure, Peligot et Tronquoy.
Wurgler, présenté par MM. Callon, Ermel et Love.

Au mois de février :

MM. Bernard, présenté par MM. Alquié, Loustau et Wissocq.
Baillet, présenté par MM. Jolly, Priestley et Love.
De Fonbonne, présenté par MM. Chobrzynski, Deligny et Nozo.
Rouyer, présenté par MM. Callon, Cauvet et Love.
Rubin, présenté par MM. Callon, Faure et Lecœuvre.

Au mois de mars :

MM. Delpech, présenté par MM. Molinos, Delpech et Pronnier.
Pascal, présenté par MM. Germon, Geoffroy et Nozo.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

ANNÉE 1863.

Membres du Bureau.

Président :

M. MORIN (le général), G. ❋ ❋ ❋ ❋, au Conservatoire des arts et métiers.

Vice-Présidents :

MM. PETIET (J.) O. ❋ ❋ ❋ ❋, rue de Dunkerque, 20.
SALVETAT ❋, à Sèvres (Manufacture impériale).
FORQUENOT ❋, rue du Louvre, 6.
CALLON (Ch.) ❋, rue Royale-Saint-Antoine, 16.

Secrétaires :

MM. TRONQUOY (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 43.
RICHOUX (Ch.), rue Antoinette, 1, à Montmartre.
GUILLAUME, rue de Lancry, 24.
DONNAY, rue Godot-de-Mauroy, 21.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.) ❋, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. ALCAN (Michel) ❋, rue Laffitte, 45.
NOZO (Alfred) ❋ ❋, boulevard Magenta, 159.
ARSON, rue de Bourgogne, 40.
VUIGNER (E.) O. ❋ C. ❋, rue du Faubourg-Saint-Denis, 146.
LAURENT (Charles) ❋, rue de Chabrol, 35.
FLACHAT (E.) O. ❋ ❋, rue de Londres, 49.
BARRAULT (Alexis) ❋, rue Moncey, 9.
FAURE (A.) ❋, rue Paradis-Poissonnière, 19.
YVON-VILLARCEAU ❋ ❋, à l'Observatoire.
CHOBRZYNSKI ❋, boulevard Magenta, 157.

MM. Tresca ❋ ✲ ✱ ❋, rue Saint-Martin, 292.
Limet, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
Alquié ❋, rue de Dunkerque, 37.
Love, rue de Turin, 4.
Farcot (J. J. Léon), au port Saint-Ouen.
Goschler, rue Lavoisier, 1.
Marié ❋, rue de Bercy, 4.
Mathias (Félix) ❋ ✲ ✱ ❋, rue de Dunkerque, 20.
Molinos (Léon), rue Blanche, 46.
Mathieu (Henri), rue du Mont-Thabor, 13.

Président honoraire.

M. Perdonnet (A.) O. ❋ G. ✲ C. ✱ ❋ ✲, à la gare du chemin de fer de l'Est.

Membres honoraires.

MM. Belanger, ❋ rue d'Orléans, 15, à Neuilly.
Poncelet (le général) G. ❋ ✲ ✱, rue de Vaugirard, 58.

Sociétaires.

MM. Aboilard, directeur de charbonnage, à Corbeil (Seine-et-Oise).
Achard, rue de la Tour-d'Auvergne, 21.
Albaret, constructeur, à Liancourt (Oise).
Alby, à Turin (Piémont).
Alcan ❋, rue Laffitte, 45.
Alquié ❋, rue de Dunkerque, 37.
Andry, à Boussu, près Mons (Belgique).
Appert, rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
Arman (Lucien) ❋, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
Armengaud aîné, rue Saint-Sébastien, 45.
Armengaud jeune, boulevard de Strasbourg, 23.
Arson, rue de Bourgogne, 40.
Artus, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 39.
Badois, à Suez (Égypte).
Baillet, maison Joly, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Balestrini, rue Notre-Dame-des-Champs, 82.
Bara, rue la Villette-Saint-Denis, 23, à Pantin.
Barberot ❋ ✲, Grande rue, 21, à Batignolles.
Baret, 7, Marlborough-Terrau, Carter Saint-Greenhey, Manchester.
Barrault (Alexis), ❋, rue Moncey, 9.

MM. Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux, à Dieuzé (Meurthe).
Barthélemy, quai Voltaire, 3.
Baudouin, ✻, avenue de Neuilly, 115.
Baumal, à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Beaucerf, à Chambéry (Basse-Savoie).
Beaussobre (de), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Bélanger, à Fresnes-sur-Escaut (Nord).
Bellier, au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire, ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Benoit-Duportail, rue Trezel, 25, à Batignolles.
Benoit-d'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Bergeron, rue du Grand-Chêne, 8, à Lauzanne (Suisse).
Bergès, rue Saint-Germain-l'Auxerrois, 88.
Bernard, chef de la section belge du chemin de fer du Nord à Namur (Belgique).
Bertholomey, à la raffinerie de M. Tutein, à Copenhague (Danemark.
Berthot, rue des Bons-Enfants, 19.
Berton, rue Mademoiselle, 16, à Versailles (Seine-et-Oise).
Bertot, rue Notre-Dame-de-Nazareth, 10.
Brugniot, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi, rue des Martyrs, 27.
Bianchi, ✻ ✻, rue des Postes, 17.
Binder (Jules), rue d'Anjou-Saint-Honoré, 72.
Bippert, cont. del Lauro, 1, à Milan (Italie).
Birlé, rue Lamartine, 7.
Biver ✻, à Saint-Gobain, par Coucy-le-Château (Aisne).
Blanc-Garin, rue Rochechouart, 70.
Blanche, quai impérial, 3, à Puteaux.
Blard, aux ateliers du chemin de fer d'Orléans, à Ivry.
Blonay (de), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau, aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire).
Blot (Léon), rue Lavoisier, 3.
Blutel, à Troyes (Aube).
Bois (Victor), place du Havre, 14.
Boitard, à Maromme (Seine-Inférieure).
Boivin, rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnaterre, rue Gaillon, 11.
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Félix), rue de Sèvres, 8.
Bordet, à Remilly, par Sombernon (Côte-d'Or).
Borgella, boulevard Magenta, 98.

MM. Bossu, à la cristallerie de Saint-Louis, par Goetzembruck (Moselle).
Boudard aîné, à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard (Félix-Arthur), à Pont-Rémy (Somme).
Boudsot, à Alger, rue Joinville, 8.
Bougère, à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet, rue de Bondy, 56.
Bouillon, rue de Chabrol, 33.
Bouquié, rue Saint-Georges, 43.
Bourcard, à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ✱, rue Notre-Dame-des-Victoires, 28.
Bourdon (Eugène) ✱, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon, rue de la Victoire, 43.
Bournique, quai prolongé de la Gare, 29, Ivry.
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Bousson, rue de Greffulhe, 8.
Boutigny d'Évreux ✱, chimiste, rue de Flandre, 52, à la Villette.
Boutin, place de Saint-Vincent-de-Paul, 2, à Levallois (Clichy).
Boutmy, à Oullins (Rhône).
Branville (de), rue d'Enfer, 83.
Breguet ✱, quai de l'Horloge, 39.
Brialmont, aux établissements de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel, à Bienne (Suisse).
Brissaud, rue de Rennes, 17.
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Bruère, à Coulommiers (Seine-et-Marne).
Bruignac (de), rue Satory, 46, à Versailles (Seine-et-Oise).
Brunet (de), Palacio de Palmetla Cathariz, Lisboa.
Brüll, rue de Moscou, 3.
Brunier, à Rouen (Seine-Inférieure).
Buddicom, rue de Lille, 97.
Bureau, rue de la Victoire, 68.
Burel (Eugène), rue Olivier, 12.
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschop, rue Vauban, 2, à Dijon (Côte-d'Or).
Bussierre (de), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Cahen, rue des Petits-Hôtels, 3.
Caillé, rue Guy-de-la Brosse, 11.
Caillet, avenue d'Antin, 37.
Caillot-Pinard, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Calla ✱, rue Lafayette, 11.
Callon ✱, rue Royale-Saint-Antoine, 16.

MM. CALMETTE, rue de Vaugirard, 45.
CALROW, rue Ménilmontant, 99.
CAMBIER, place d'armes, à Luxembourg (Grand-Duché).
CAPDEVIELLE, chez MM. Maze et Voisine, rue des Vertus, 70, à la Villette.
CAPUCCIO, à Turin (Piémont).
CARCENAT, à la gare du chemin de fer du Nord, Paris.
CARIMANTRAND, rue d'Anjou-Saint-Honoré, 68.
CARON, rue Garancière, 7.
CARPENTIER, rue de Fleurus, 37.
CASTEL (Émile) ✱, place Roubaix, 24.
CASTOR ✱, à Mantes (Seine-et-Oise).
CAUVET, rue de la Chaussée-d'Antin, 45.
CAVÉ ✱ (François), place Lafayette, 22.
CAVÉ (Amable), avenue Montaigne, 51.
CAZALIS DE FONDOUCE, à Montpellier (Hérault).
CAZES, à Madrid (Espagne).
CERNUSCHI, Finalmarina (Piémont).
CHABRIER, rue Saint-Lazare, 99.
CHAMPIONNIÈRE, à Monlignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
CHAMPOUILLON, à la gare du chemin de fer du Nord (Paris).
CHANCEREL, à Stenay (Meuse).
CHARAUDEAU, rue de l'Arcade, 18.
CHARBONNIER, rue de Bréa, 24.
CHAPELLE ✱, boulevard Beaumarchais, 102.
CHAPER ✱, rue de Provence, 58.
CHARPENTIER, rue des Lions-Saint-Paul, 5.
CHATEAU, au port Saint-Ouen.
CHAUVEL, à Navarre, par Évreux (Eure).
CHAVÈS, inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
CHÉRONNET, boulevard Péreire, 124 (Batignolles).
CHEVANDIER, rue de la Victoire, 22, hôtel de la Victoire.
CHOBRZYNSKI ✱, boulevard Magenta, 157.
CHOLLET, à Belfort (Haut-Rhin).
CKIANDI, cours Bonaparte, 80, Marseille (Bouches-du-Rhône).
CLÉMENT-DESORMES, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
CLERVAUX (DE), directeur des usines de Torteron (Cher).
COIGNET, quai Jemmapes, 228.
COINDET, rue de l'Hôtel-de-Ville, 3, au Havre (Seine-Inférieure).
COLLADON, à Genève (Suisse).
CONBARD, rue Neuve-des-Mathurins, 48.
CONSOLAT, rue Caumartin, 58.
COQUEREL, boulevard des Batignolles, 22.

MM. Cordier, rue Caumartin, 26.
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).
Courlet, à Deluz, près Besançon (Doubs).
Cournerie, à Cherbourg (Manche).
Courras, rue de Vienne, 13.
Courtépée, rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtines (Jacques) ✱, à Aurillac (Cantal).
Couture, rue de Saint-Quentin, 14.
Crespin, à Meulan (Seine-et-Oise).
Crétin ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.
Cuinat, à Varsovie (Russie).
Daguin (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 5.
Dallot, 40, Wigmore street W. Londres.
Dambricourt, à Wezernes, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Darblay, à Corbeil (Seine-et-Oise).
David (Augustin), boulevard Magenta, 157.
David, rue de Paris, 17, à Ivry.
Debauge ✱, cité Gaillard, 1.
Debié, à la papeterie de la Croix-Blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Debonnefoy, rue Madame, 6.
Decaux ✱, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene, à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse, rue des Martyrs, 47.
De Dion ✱, à Monfort-Lamaury (Seine-et-Oise).
Deffosse, au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Valence.
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
Dejoly (Théodore), rue Martignac, 1.
Delanney, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy ✱, à la gare du chemin de fer d'Orsay, à Montrouge.
Delaporte, à l'usine de Montataire (Oise).
Delattre, rue d'Orléans, 32 (Batignolles).
Delaville-Leroux, directeur des forges d'Imphy (Nièvre).
Delebecque, rue Chabrol, 34.
Deligny O ✱, vieille route de Neuilly, 15.
Delom, rue de La Tour-d'Auvergne, 18.
Delon, rue de la Michaudière, 20.
Delonchant, Grande Rue, 26, à Sèvres (Seine-et-Oise).
Delpeche, rue Rambouillet, 2.
Delpech (Ferdinand), Chaussée d'Antin, 51.
Demeule, à Elbeuf (Seine-Inférieure).
Deniel ✱, à Troyes (Aube).
Derennes, quai Napoléon, 15.
Desbrière, rue de La Bruyère, 8.
Desforges, au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).

MM. Desgrange, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 783, à Vienne (Autriche).
Desmasures O ✻, rue Taitbout, 67.
Desmousseaux de Givré, rue de Lille, 79.
Desnos, boulevard Saint-Martin, 29.
Desnoyers, aux forges du Phénix, Ruhrort (Prusse).
Després, rue de l'Arcade, 65.
Devaureix, rue des Couronnes, 2, à la Chapelle-Saint-Denis.
Devers, rue des Filatiers, 36, à Toulouse (Haute-Garonne).
D'Hamelincourt, rue Saleneuve, 29 (Batignolles).
Diard, rue Saint-Gilles, 11.
Dinan, allées Marines, à Bayonne (Basses-Pyrénées).
Dombrowski, à Bar-le-Duc (Meuse).
Donnay, chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, rue Godot-de-Mauroy, 21.
Dorré, aux ateliers du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg, à la Chapelle.
Doublet, rue Bleue, 2.
Doyère ✻, boulevard Péreire, 70.
Dru, rue Fénelon, 11.
Dubied, rue de la Victoire, 21.
Dubois, rue de Savy, 1, à Lyon (Rhône).
Dufournel, à Gray (Haute-Saône).
Dugourd, à Alais (Gard).
Duméry, boulevard Monceau, 8.
Du Pré ✻, ingénieur en chef honoraire des ponts et chaussées, à Bruxelles (Belgique).
Durenne ✻, rue Rougemont, 12.
Durocher, rue de la Verrerie, 83.
Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
Duval (Raoul), directeur des houillères de Rulhe, à Cransac (Aveyron).
Eiffel, rue Neuve-des-Mathurins, 48.
Engelmann, en Russie.
Ermel, rue Montholon, 28.
Estoublon, maître de forges, à Rosières, par Saint-Florens (Cher).
Étienne, au chemin de fer de Séville à Cadix, à Séville (Espagne).
Évrard, rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Faliès, Chaussée-du-Maine, 4.
Fallenstein, à Düren, près Aix-la-Chapelle (Prusse).
Farcot (J. J. Léon), au port Saint-Ouen (banlieue).
Farcot père, au port Saint-Ouen.
Farcot (Emmanuel), au port Saint-Ouen.

MM. FARCOT (Abel), au port Saint-Ouen.
FAUCONNIER, avenue Parmentier, 15.
FAURE (Auguste) ✱, rue Paradis-Poissonnière, 19.
FELLOT, rue de Chartres, 18 (Batignolles).
FERNEX (DE), rue de la Ferme-des-Mathurins, 58.
FEROT ✱, rue d'Amsterdam, 15.
FÈVRE, rue et cité Turgot, 5 et 7.
FÈVRE (Henri), rue de Penthièvre, 7.
FIÉVET, rue Saint-Louis, 22, au Marais.
FLACHAT (E.) O. ✱ ✱, rue de Londres, 49, et à Asnières (Seine).
FLACHAT (Adolphe), rue Caumartin, 70.
FLACHAT (Yvan), rue Lavoisier, 1.
FLAUD, rue Jean-Goujon, 27.
FONBONNE (DE), chaussée des Martyrs, 23.
FONTENAY (DE), rue du Cherche-Midi, 36.
FONTENAY (Tony), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
FONTENAY (DE) ✱, à Baccarat (Meurthe).
FOREY, à Montluçon (Allier).
FORQUENOT ✱, rue du Louvre, 6.
FORTIN-HERRMANN (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
FORTIN-HERRMANN (Émile), boulevard Montparnasse, 71.
FOUCOU, rue Saint-Étienne-du-Mont, 19.
FOURNEYRON ✱, rue Saint-Georges, 52.
FOURNIER, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
FOURNIER (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
FRESNAYE, à Marenlo, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
FRICHOT, à Pont-Rémy (Somme).
FROMANTIN, rue Bonaparte, 24.
FROMONT, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
FROYER, à Castillon (Gironde).
FUCHET, rue Mayet, 4.
GAGET, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, 5.
GALLAUD, rue Notre-Dame-de-Lorette, 16.
GALLOIS, rue Fazillan, 108, à Levallois.
GANNERON, quai de Billy, 56.
GARNIER (Paul) ✱, rue Taitbout, 16.
GAUDET ✱, à Rive de Giers (Loire).
GAUDRY (Jules), ingénieur au chemin de fer de l'Est, rue de Dunkerque, 24.
GAUPILLAT, au bas Meudon (Seine-et-Oise).
GAVEAU, chez M. Facundo Chalbaud, négociant à Bilbao, près Bayonne (Espagne).
GAYRARD (Gustave) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 222.
GÉNISSIEU, rue Saint-Honoré, 155.

MM. GENTILHOMME ✱, quai de la Tournelle, 45.
GEOFFROY, rue de la Nation, 14, à Montmartre.
GERMAIN, rue Saint-Lazare, 62.
GERMON, rue de Paris, 117, à Belleville.
GÉRONDEAU, à Voves (Eure-et-Loire).
GEYLER, rue Blanche, 95.
GIBON, à Commentry (Allier).
GIFFARD ✱, avenue Matignon, 3.
GIL (Claudio), à Barcelonne (Espagne).
GINGINS (DE) (Olivier), rue d'Aumale, 7.
GIRARD, faubourg Poissonnière, 35.
GISLAIN, rue Lepelletier, 35.
GODFERNAUX, rue de Bruxelles, 20.
GOSCHLER, rue Lavoisier, 1.
GOTTSCHALK, à Saint-Pétersbourg (Russie).
GOUIN (Ernest) O ✱, rue de la Ville-l'Évêque, 44.
GOUMET, rue du Temple, 118.
GOUVY (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
GRENIER (Achille) ✱, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).
GUÉRARD, au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
GUÉRIN DE LITTEAU ✱, rue d'Antin, 9.
GUETTIER, rue de La Fayette, 39.
GUIBAL (Théophile) ✱, à l'École des mines de Mons (Belgique).
GUILLAUME (Charles), au chemin de fer du Midi, à Toulouse (Haute-Garonne).
GUILLAUME, rue de Lancry, 24.
GUILLEMIN, à la Péraudette, près Lausanne (Suisse).
GUILLEMIN, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
GUILLET, directeur de l'École professionnelle du Centre, à Ménars (Loir-et-Cher).
GUILLON ✱, à Amiens (Somme).
GUILLOT, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).
GUNTZ, à Hagueneau (Bas-Rhin).
HALLOPEAU, rue Albouy, 2.
HAMERS, rue du Guignier, 1, à Belleville.
HAMOIR, à Maubeuge (Nord).
HERMARY, à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
HERVEY-PICARD, rue Saint-Louis, 54, aux Batignolles.
HERVIER, rue de la Fidélité, 10.
HEURTEBISE, chez M. Doré, maître de forges, rue Napoléon, 24, au Mans (Sarthe).

MM. Holcroft, à Tours (Indre-et-Loire).
Houel ✻, quai de Billy, 48.
Houlbrat, rue du Havre, 12.
Hovine, rue de Lyon, 61.
Hubert, rue Blanche, 69.
Hubert (William) ✻, rue Miroménil, 2.
Huet, directeur des Mines de plomb de Carnoulis, rue Florian, à Alais (Gard).
Humblot, rue des Clercs, à Metz (Moselle).
Imbs, à Brumath, près Strasbourg (Bas-Rhin).
Jarry, à Saint-Pares-les-Vandes (Aube).
Jacquin, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
Jequier, à Santiago (Chili). M. Huillard, quai d'Orléans, 6.
Jolly (César), à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Jordan, rue de Provence, 14.
Jouannin, rue de Clichy, 78.
Jousselin, place Dauphine, 13.
Jucqueau, inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans, à Poitiers (Vienne).
Jullien, boulevard Beaumarchais, 76.
Karcher, à Sarrebruck (Prusse-Rhénane).
Knab, rue Madame, 1.
Kreglinger, chaussée de Berchem, 79 (Belgique).
Laborie (de) ✻, boulevard de Sébastopol, 27.
Laboulaye ✻, rue de Grenelle-Saint-Germain, 39.
Labouverie, à Bouillon, province de Luxembourg.
Lacombe ✻, rue de La Rochefoucaud, 46.
Lafon, à Elvas (Portugal).
Lainé, rue du faubourg-du-Temple, 59.
Laligant, à Maresquel, par Champagne-lès-Hesdin (Pas-de-Calais).
Lalo. rue Saint-André-des-Arts, 45.
Lambert, à Vuillafons, par Ornans (Doubs).
Langlois (Auguste), aux Mines de Rousseval, par Vassy (Haute-Marne).
Langlois (Charles, rue Joubert, 10.
Larpent, rue de Lonchamps, 39.
Larochette (de) ✻, à Bastia (Corse).
La Salle, à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron, à Alexandrie (Égypte).
Lasvigne, rue Caroline, 11, Batignolles.
Laurens ✻, rue Saint-Honoré, 368.
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).

MM. Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles) ✱, rue Chabrol, 35.
Laurenzano, strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59 (Naples).
Lavalley ✱, avenue de l'Impératrice, 47.
Lavezzari, à Écuires, près Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Lebon (Eugène), boulevard de Strasbourg, 9.
Le Brun (Louis), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raymond), rue de la Paix, 36, Batignolles.
Lecherf, rue de l'Abbaye, 4, à Montmartre.
Le Cler (Achille) rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), rue Lemercier, 32, à Batignolles.
Lecœuvre, rue Saint-Louis, 83.
Leconte ✱, rue de Bercy, 4.
Lecorbellier, rue de Londres, 51.
Lefèvre, rue de l'Écluse, 17 (Batignolles).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legavriand, à Lille (Nord).
Le Laurin, rue d'Amsterdam, 54.
Lemoinne ✱, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
Lemonnier, aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon, à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy, cour Léopold, 27, à Nancy (Meurthe).
Letellier, rue Neuve-des-Martyrs, 10.
Letestu, rue du Temple, 118.
Levat ✱ à Arles (Bouches-du-Rhône).
Lévy (Jules), rue de Rivoli, 104.
Lévy (Emmanuel), à Renteria-Guipuzcoa (Espagne).
Leygue, rue du Faubourg-Saint-Denis, 167.
Limet, rue du Faubourg-Poissonnière, 32.
Limoge (de), au Pouzin (Ardèche).
Lippmann, rue de Rivoli, 51.
Litschfousse, chez M. Margo, à Cannes (Aude).
Loisel, rue Tronchet, 2.
Longraire, à Bologne (Italie).
Lopez-Bustamante, à Santander (Espagne).
Loustau (Gustave) ✱, rue de Dunkerque, 20.
Love, rue de Turin, 4.
Loyd, chez M. Gouin, à Batignolles.
Machecourt, à Montricq, par Commentry (Allier).
Maire, boulevard Malesherbe, 19.
Mallac, rue Saint-Paul, 14, Bordeaux (Gironde).
Maldant, rue de Lormont, 2 et 5, Bordeaux (Gironde).
Mallet, rue Blanche, 80.

MM. Malo, aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
Manby (Charles), 25, Great George street, Westminster.
Mangeon, à Melun (Seine-et-Marne).
Marçais, rue de Rivoli, 132.
Marcilly (de), à Suez (Égypte).
Marès (Henri), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
Marié ✻, rue de Bercy, 4.
Marindaz, rue de Clichy, 56.
Marion, rue Marcadet, 6, à la Chapelle.
Mariotte, quai de la Rapée, 36.
Marle, aux houillères d'Épinac (Saône-et-Loire).
Marsillon, ingénieur principal de la 5e division, à Vesoul (Haute-Saône).
Marsillon, rue Joseph II, à Bruxelles (Belgique).
Martenot ✻, à Ancy-le-Franc (Yonne).
Martin (Léon), à Commentry (Allier).
Martin (Louis) ✻, rue de Strasbourg, 8.
Martin (Charles-William), boulevard Montceau, 2.
Massé, place Royale, 60, à Reims (Marne).
Masselin, à la verrerie de M. Chance, à Birmingham.
Mastaing (de), boulevard Beaumarchais, 95.
Mathias (Félix) ✻ ✻ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
Mathias (Ferdinand) ✻ ✻, à Lille (Nord).
Mathieu (Henri), rue Monthabor, 13.
Mathieu (Ferdinand) O ✻, au Creuzot (Saône-et-Loire).
Mathieu (Jules), rue de l'Entrepôt, 15.
Maure, rue Miroménil, 13.
Mayer ✻, rue Pigale, 26.
Mazeline ✻, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
Mazilier, boulevard de Strasbourg, 89.
Mégret, au château de la Meynardie à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
Mélin, rue Neuve-Coquenard, 11 *bis*.
Méraux, rue Chabrol, 36.
Mercier, rue Saint-Sébastien, 35.
Mesdach, rue Saint-Paul, 28.
Mesmer ✻, à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Meyer (J.-J.), Schatten-Ring, 2, à Vienne (Autriche).
Michel, à Troyes (Aube).
Michelant, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt), à Ivry.
Michelet, quai Valmy, 251.
Mignon, rue Ménilmontant, 151.
Minary, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
Mirecki, en Russie.

MM. MITCHELL, rue de Lyon, 61.
MOLÉON, rue de la Paix, 16.
MOLINOS, rue Blanche, 46.
MOLLARD, rue Puteaux, 11 (Batignolles).
MONNOT, à Pontru (Aisne).
MONTCARVILLE, au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONTHIERS, rue Neuve-des-Petits-Champs, 64.
MONY (Stéphane) ✠, boulevard des Italiens, 26.
MOREAU (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
MORICE, à Hazebruck (Nord).
MORIN (le Général) G. ✠ ✠ ✠ ✠, rue Saint-Martin, 292.
MULLER (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
MULLER (Alfred), rue Rochechouart, 42.
MULLER (Émile), rue Chabrol, 33.
NANCY, ingénieur des docks, au Havre (Seine-Inférieure).
NEPVEU, rue Blanche, 80.
NILLIS (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
NOISETTE, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
NORMAND fils, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
NOZO ✠ ✠, boulevard Magenta, 159.
O'BRIEN, Bryn-Mawz, Breconshire (Angleterre).
OTTAVI, avenue de Saint-Cloud, 33, à Passy.
OUDOT, rue Chégaret, 9, à Bayonne (Basses-Pyrénées).
PALOTTE fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 21.
PAQUIN ✠, au chemin de fer de Saragosse à Alicante, à Madrid (Espagne).
PASCAL, faubourg Saint-Denis, 92.
PAUL, rue Amelot, 40.
PELIGOT (Henri), rue Bleue, 5.
PELLIER, à Thann (Haut-Rhin).
PEPIN-LEHALLEUR ✠ ✠, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
PERDONNET (Auguste) O ✠ G ✠ C ✠ ✠ ✠, administrateur au chemin de fer de Strasbourg, rue de Calais, 16.
PÉREIRE (Eugène) O ✠ ✠, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
PÉRIGNON, faubourg Saint-Honoré, 105.
PÉRISSÉ, Grande Rue, 62, aux Batignolles.
PERRET, à Milan (Piémont).
PERROT ✠, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.
PETIET (Jules) O ✠ ✠ ✠ ✠, rue de Dunkerque, 20.
PETIN ✠, à Rive-de-Gier (Loire).
PETITGAND, rue Richer, 13.
PETITJEAN, rue de Bruxelles, 15.
PETRE, place Vendôme, 16.

MM. Picard, maison Tanquier, place Championnet, à Valence (Drôme).
Pierron ✱, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody, boulevard de Strasbourg, 62.
Pinat, aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet, ingénieur en chef des mines de Gibraléon, province de Huelva (Espagne).
Planhol (de) ✱, à Sousvent, par Bex, canton de Vaux (Suisse).
Plazolles, à Saintes (Charente-Inférieure).
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet, à Huelva (Andalousie).
Poiret, au Mans (Sarthe).
Poncet, entrepreneur, rue Godefroy, 12, à Lyon (Rhône).
Poncin, à Brives (Corrèze).
Pot, rue Dieudé, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet, rue Bonaparte, 18.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley, rue Saint Gilles, 17.
Princet, à Épinal (Vosges).
Prisse ✱, au chemin de fer d'Anvers, à Gand (Belgique).
Pronnier, rue Blanche, 16.
Pury (de), à Neuchâtel (Suisse).
Rancès, rue Neuve, 30, à Bordeaux (Gironde).
Redon, allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).
Regad (Léon), boulevard Longchamps, 107, à Marseille (B.-du-R.).
Regel (de) ✱, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault, rue de Stockholm, 4.
Renard, rue du Bac, 83.
Renaud, à Deluz, canton de Roulans (Doubs).
Rey, rue Culture-Sainte-Catherine, 14.
Reymond, rue Dieudé, 11, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Reynaud, à Cette (Hérault).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Revin, rue de Londres, 41.
Rhoné ✱, rue du Faubourg-St-Honoré, 35.
Ribail, rue du Chemin de fer, 35, à Plaisance.
Richard, rue de l'Oratoire-du-Roule, 41.
Riche, à Suez (Égypte).
Richomme, à la gare du chemin de fer du Nord.
Richoux, rue Antoinette, 1, à Montmartre.
Ridder (de), rue de Provence, 65.

MM. Rocaché, rue Mazagran, 4.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Romme, à Saint-Quentin (Aisne).
Rouart, rue Ménilmontant, 149.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis-au-Marais, 67.
Rouyer, rue Fontaine-Saint-Georges, 24.
Roy (Edmond), rue Mornay, 3.
Roze, rue du Château-d'Eau, 47.
Rubin, rue de la Victoire, 22.
Ruolz (de) O ✻ ✻, rue du Cherche-Midi, 69.
Saillard, constructeur à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, rue du Faubourg-St-Martin, 152.
Salleron, à Sens (Yonne).
Salvetat ✻, à la Manufacture impériale de Sèvres.
Sambuc, Wieden-Hengasse, 42, à Vienne (Autriche).
Sarazin, boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier, rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter, rue Jean-Goujon, 16.
Scellier, directeur de l'usine du Pied-Selle, à Fumay (Ardennes).
Schabaver, à Castres (Tarn).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker, à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger ✻, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schlumberger fils, à Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schuwab, à Terre-Noire, près Saint-Étienne (Loire).
Sebillot, rue Blanche, 83.
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Ser, rue de Rivoli, 82.
Servier, rue des Martyrs, 33.
Siéber, rue de l'Empereur, 33, à Montmartre.
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Stéger, quai de Béthune, 22.
Stœkel, à Ahun (Creuse).
Sulberger-Ziegler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu, rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, rue Sainte-Placide, 54.
Thauvin, rue Martel, 17.
Thétard, boulevard Magenta, 190.
Thevenet, rue de La Rochefoucauld, 25.
Thirion, boulevard Beaumarchais, 95.
Thomas (Léonce) ✻, quai Voltaire, 25.
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn)

MM. Thomé de Gamond, rue de Bruxelles, 26.
Thouin ❋ ✠, rue de Dunkerque, 20.
Thouvenot, à Bex, canton de Vaud (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de la Michodière, 20.
Trélat ❋, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.
Tresca ❋ ✠ ✵ ❋, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Tronquoy (Camille), rue du Faubourg-St-Denis, 43.
Valentin, place des Martyrs, 17, à Bruxelles (Belgique).
Valério, rue Grange-Batelière, 26.
Vallez, à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
Vallier, rue de l'Isly, 8.
Vandel, aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vauthier, rue de Provence, 21.
Vée, rue de Lancry, 55.
Vegni, à Florence (Italie).
Verdier ❋, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
Verrine, rue de Stockholm, 10.
Vidal, rue des Fossés-Saint-Jacques, 20.
Vigneau, à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
Vigreux, rue du Château-d'Eau, 26.
Vinchen ❋, ingénieur en chef de l'État belge, à Bruxelles (Belgique).
Vinchon, rue de Milan, 8.
Viron, au chemin de fer à Angoulême (Charente).
Voruz aîné, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Émile) O ❋ G ✠, rue du Faubourg-St-Denis, 146.
Vuillemin, à Épernay (Marne).
Wahl ❋, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert, à Lille (Nord).
Weil (Frédéric), rue des Petites-Écuries, 13.
West, rue de Provence, 7.
Willien (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 10, à Strasbourg.
Windisch, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Wissocq (Alfred), à Charleroi (Belgique).
Wohlguemuth, à Essonne (Seine-et-Oise).
Wolski, ingénieur des mines d'Auriol (Bouches-du-Rhône).
Wurgler, passage de l'Élysée des Beaux-Arts, 15.
Yvert (Léon), rue d'Aumale, 26.
Yvon-Villarceau ❋ ✠, à l'Observatoire.

Secrétaire archiviste.

Husquin de Rhéville, rue Buffault, 26.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE Ier TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1863

Séance du 9 Janvier 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. CALLON, à l'occassion du procès-verbal, donne quelques explications sur ce qui a été dit au sujet de la publication de la lettre que lui avait adressée M. Flachat.

L'ordre du jour appelle l'installation des membres du bureau et du comité pour l'année 1863.

M. Tresca, président sortant, occupe le fauteuil et prononce l'allocution suivante :

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES.

Vos statuts ont sagement exigé que le président présentât à la Société un rapport général sur la situation de ses finances et de ses travaux. Avant de quitter le fauteuil, je viens m'acquitter de cette obligation.

Nos séances bimensuelles ont eu lieu toute l'année sans interruption ; et il résulte des relevés faits sur le registre de présence qu'elles ont été beaucoup plus suivies que précédemment. Cela tient évidemment à ce que les sujets qui ont été successivement traités ont présenté le caractère de variété qu'il est nécessaire de leur conserver, pour que le plus grand nombre de nos collègues y assistent avec plaisir et avec fruit. L'Exposition de Londres a beaucoup aidé à cette variété; visitée avec empressement par beaucoup d'ingénieurs, elle nous a permis de tenir à Londres même dix séances supplémentaires dont les procès-verbaux vous ont été distribués, et à la suite desquelles nous avons droit d'attendre des communications de même ordre que celles qui nous ont déjà été faites par M. Salvetat, et, au nom de M. Flachat, par M. Verrine. Si, dans les industries principales, on nous signalait de la même façon les progrès réalisés dans ces derniers temps, nous trouverions dans ces communications intéressan-

tes un supplément d'instruction qui est, si je ne me trompe, l'un des buts essentiels de nos réunions.

Parmi les communications qui ont été discutées avec attention, nous citerons particulièrement celle de MM. Brull et Tronquoy sur la purification des eaux d'alimentation des machines à vapeur, celle de M. Chavès sur la distribution des eaux dans les chemins de fer, celles de MM. Dru et Bertot sur le débit des puits artésiens, les communications nombreuses qui ont été faites sur le procédé Bessemer, qui est aujourd'hui en la possession de nos grandes usines et qui vient encore d'être appliqué, sur une grande échelle, par MM. Petin et Gaudet.

Vous vous êtes, à diverses reprises, occupés du matériel des chemins de fer et de l'art de la construction ; vous avez visité, dans les usines de M. Coignet, les produits en béton de cet habile industriel ; vous vous êtes entretenus du procédé de carbonisation des bois à l'aide duquel M. de Lapparent se propose d'assurer la conservation de cette matière si indispensable à la construction et cependant si attaquable par la pourriture et par les insectes.

Deux discussions, déjà entamées, devront être poursuivies dans les séances prochaines : celle de la navigation sur les canaux, admirablement résumée par M. Faure, donnera lieu, sans doute, à des rapprochements utiles; M. Jordan vous a déjà annoncé qu'il avait des observations à présenter sur les indications données par M. Mathieu sur l'application du procédé Bessemer.

M. Belanger a soumis à votre appréciation un travail dont il a voulu que vous ayez la première communication, sur la théorie mécanique de la chaleur ; nul doute que ces questions et bien d'autres ne soient désormais traitées avec tous les développements scientifiques convenables; c'est là une règle essentielle à observer, et s'il était permis à celui qui quitte le fauteuil d'introduire dans son résumé officiel quelques mots de critique bienveillante, il serait peut-être fondé à vous dire combien il serait désirable que chaque examen fût approfondi, moins superficiel quelquefois, et qu'un plus grand nombre de nos collègues se préparassent davantage à prendre part à la discussion.

Bien que toutes nos séances aient été remplies, nous en sommes arrivés à ce point que les auteurs de plusieurs mémoires déjà déposés attendent encore leur tour de parole.

Un travail de M. Nozo, qui est aujourd'hui même à l'ordre du jour, une note de M. Revin sur les ressorts, se rattachent l'un et l'autre à la question des aciers ; M. Limet y joindra sans doute ses études, depuis longtemps promises, sur les modifications moléculaires déterminées par le travail de cette substance capricieuse. Le nouveau genre de propulseur pour lequel M. Brialmont nous a fait parvenir son travail se rattachera fort à propos à la discussion générale sur les transports par eau. D'autres mémoires sont encore remis, et ils complètent ainsi qu'il suit le trop-plein de l'année 1862.

Mémoire sur un projet de traverses en tôle, par M. Chollet ;

Note sur le laminage et le perçage des rails, par M. Gérondeau ;

Note sur le gisement et le traitement du soufre natif en Espagne, par M. E. Leclerc.

Mais, en dehors de ces travaux déjà livrés, la Société a encore des droits acquis sur un certain nombre de Mémoires annoncés et qui attendent également leur tour : nous n'en citerons que quelques-uns :

De M. Alcan, Communication sur les nouveaux métiers à filer et sur la transformation des ateliers de filature ;

De M. Arson, Communication sur les extracteurs à gaz ;

De M. Em. Barrault, Emploi des garnitures métalliques dans les machines à vapeur ;

De M. Bertot, Sur la formation des deltas et sur les moyens de la diriger ;

De M. Dubied, Examen comparatif des différents modes de transmission, à retour rapide, par bielle et par manivelle ;

De M. Faure, Observations sur les roues Sagebien ;

De M. Yvert, Études sur les travaux à la mer.

Nous ne surchargerons pas cette nomenclature : les indications qui précèdent sont bien suffisantes pour montrer que l'activité est, chez nous, assez grande, et que notre examen peut successivement se porter sur des sujets très-différents les uns des autres et d'une véritable actualité.

La Société s'est occupée beaucoup moins de ce qui concerne l'avenir professionnel des ingénieurs civils en France ; les nouveaux élèves qui sortent de l'École centrale se placent, pour la plus grande partie, dans l'industrie et dans les chemins de fer : sous ce dernier rapport leur situation ne s'est pas améliorée, mais les développements que reçoivent sans cesse nos grands ateliers leur promettent un débouché toujours plus actif.

Les questions litigieuses qui touchent aux procédés des manufactures, aux droits des brevetés et aux questions d'art, se multiplient dans une assez grande proportion pour utiliser d'une manière toute spéciale les connaissances d'un grand nombre de nos collègues. Dans les questions administratives, l'ingénieur civil est le contradicteur naturel de l'ingénieur du département, le défenseur des intérêts privés engagés dans les affaires contentieuses ; le nouveau décret du 3 décembre, qui introduit, avec une vraie libéralité, la contradiction dans les débats devant les conseils de préfecture, paraît ouvrir une nouvelle voie dans laquelle les ingénieurs civils doivent prendre une position importante et tout à fait de leur domaine.

Les conseils de préfecture, dit M. de Persigny dans son rapport à l'Empereur, statuent chaque année sur plus de 200.000 affaires qui concernent notamment les travaux publics, la grande voierie, les chemins vicinaux, les cours d'eau, les mines, les établissements insalubres, etc., etc. Ce sont là toutes questions dont nous devons connaître aussi bien que qui que ce soit.

L'organisation de l'enseignement professionnel, dont le besoin s'impose plus que jamais, n'est, suivant nous, réalisable qu'avec le concours des hommes qui joignent, à des connaissances théoriques indiscutables, l'habitude des travaux de l'atelier ; c'est dire que cette organisation roule tout entière sur le concours que vous serez heureux de lui apporter : les ingénieurs civils seront appelés, par la force des choses, à jouer un grand rôle dans la solution qui ne peut manquer d'être donnée bientôt à cette grave question.

Vous connaissez tous la création de la Société amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures ; nous nous étions émus à l'annonce de cette création, parce que nous pouvions craindre d'être privés, par voie de concurrence, du concours des nouveaux ingénieurs sortant de cette école, et qui s'appellent, vous le savez, ingénieurs des arts et manufactures, à partir des derniers diplômes ; mais un examen plus approfondi nous a fait voir, des engagements même nous ont assuré, qu'il s'agissait seulement de venir en aide de camarade à camarade, et que la Société amicale se refusait toute discussion technique, en nous la réservant. Ses membres viendront donc grossir nos rangs, et nous serons heureux, de notre côté, toutes les fois que nous pourrons venir en aide à la société nouvelle dans ses efforts pour améliorer la position de quelques-uns de ses membres.

Notre société restera donc, comme par le passé, la véritable académie des arts

techniques; et ce sera une raison de plus pour que nous nous efforcions de relever l'éclat de nos discussions.

A l'occasion de l'Exposition de Londres nos rapports avec les sociétés anglaises ont été extrêmement suivis; nous pouvons dire que nous sommes aujourd'hui en communauté d'idées avec elles, et l'échange de nos publications s'en est agrandi. Nous avons tout particulièrement à nous louer de l'extrême obligeance de notre collègue M. Ch. Manby, secrétaire honoraire de l'Institut des ingénieurs civils de Londres, de celle de M. Gregory, président de la société Smeatonienne des ingénieurs civils, et de celle de sir W. Armstrong, président de la société des ingénieurs mécaniciens de Manchester; l'accueil qu'ils nous ont fait nous permet de croire que ceux de nos camarades que nous aurions à leur adresser, pour des sujets intéressant notre profession, seraient également bien reçus.

Nous devons aussi des remercîments de même nature à M. Cole, directeur du South Kensington Museum, qui nous a donné, dans son bel établissement, la plus généreuse hospitalité pour toutes les séances que nous y avons tenues.

La publication du bulletin s'est poursuivie d'une manière suffisamment régulière : non-seulement l'année 1861 a été complétée, non-seulement les deux premiers trimestres de 1862 ont paru, mais vous recevrez dès les premiers jours de la semaine prochaine le troisième trimestre; et nous n'aurons plus d'arriéré que pour le quatrième, qui ne peut être complété qu'après la fin de l'exercice. Les procès-verbaux et plusieurs des mémoires qui doivent y entrer sont déjà imprimés et corrigés; les procès-verbaux seuls ont fourni pour l'année entière, et avec ceux des séances de Londres, un tiers en plus de la matière formée par ceux de l'année précédente.

Ce surcroît de matière n'a cependant exigé, de la part de la Société, aucun sacrifice pécuniaire; vous avez vu, par les comptes arrêtés par votre trésorier, que la Société possédait, au 31 décembre, 6000 fr., environ en caisse.

Les frais de toutes natures se sont élevés à 12350 fr. 55 cent.; et, sans nous refuser en rien aux dépenses utiles, nous avons pu faire l'acquisition de treize obligations nouvelles de chemins de fer, pour une somme de 4032 fr. 50 cent.

Ce bon état de nos finances tient à ce que la rentrée des cotisations s'est faite plus facilement encore que par le passé, et pour une grande part aux avantages qui ont été la conséquence de notre double traité avec M. Lacroix. Ce libraire, que vous avez autorisé à prendre le titre de libraire de la Société des ingénieurs civils, nous a déjà payé 1400 fr. pour la vente que nous lui avons faite de nos bulletins; il aura encore à verser 600 fr. lors de la livraison du quatrième trimestre 1862; et, en se chargeant de tous les frais de composition de nos procès-verbaux, il nous a d'autre part économisé une dépense qui s'est élevée, pour l'exercice précédent, à plus de 1000 fr.

Comparées à celles de l'année précédente, les recettes se sont augmentées de 792 fr. 95 cent.; les dépenses ont été diminuées de 4201 fr. 20 cent.; il n'est pas nécessaire d'être ingénieur pour apprécier le résultat de cette double amélioration; la fortune acquise de la Société s'élève aujourd'hui à 67273 fr. 30 cent., au lieu des 61947 fr. 20 cent., qui la constituent au 31 décembre 1862.

Ces détails devaient vous être donnés, pour que vous n'ignoriez rien de ce qui touche à l'administration de vos finances, si scrupuleusement sauvegardées par les soins de votre excellent trésorier.

Mais, messieurs, à mesure que les institutions se développent sous la protection des hommes et sous l'influence du temps, elles se voient successivement privées du concours de ceux qui ont été quelquefois ses amis les plus dévoués; plus nous nous

éloignons de notre origine, plus nous devenons nombreux, et plus nous avons à craindre les vides que les années peuvent produire au milieu de nous.

Cinq de nos meilleurs camarades nous ont été enlevés cette année même : il nous suffira de les désigner par leurs noms pour que leur mémoire soit assurée de vivre longtemps dans vos souvenirs.

La perte la plus cruelle qu'ait faite la Société est celle de M. Degousée, qui, l'un de ses fondateurs et l'un de ses premiers vice-présidents, n'a pas cessé de faire constamment partie de votre comité, aux travaux duquel il a pris une part active dans toutes les occasions essentielles ; la prospérité de la Société a toujours été l'une de ses plus chères préoccupations, et l'on a pu voir à ses obsèques combien vous lui en étiez reconnaissants. Après la perte de Polonceau, on peut dire qu'aucun membre de la Société n'a été plus universellement regretté.

Degousée était né en 1795, à une époque où les travaux de l'Industrie étaient loin d'être appréciés comme ils le sont aujourd'hui, et il n'est devenu industriel qu'après avoir passé successivement de longues années dans la carrière des armes et dans la carrière administrative. C'est en 1828 seulement qu'il commença à se livrer aux travaux de sondage dont il s'est occupé sans discontinuer pendant trente ans, même au milieu des fonctions politiques auxquelles il fut appelé à la suite des événements de 1848.

Dès 1830, Degousée recevait la grande médaille d'or de la Société d'encouragement, dans le concours qu'elle avait ouvert pour l'établissement des puits forés.

Le rapport fait sur ce concours énumère les divers travaux déjà effectués à cette époque par M. Degousée, et après être entré dans quelques détails sur les résultats remarquables du puits de Saint-Gratien à Tours, il constate que ce sondage est le premier qui ait entièrement traversé la grande masse de craie : il est donc, ajoute le rapporteur, pour l'art comme pour la science, du plus grand intérêt.

Ce double caractère appartient à toute la vie industrielle de M. Degousée; la géologie, dont il avait compris l'utilité pour sa profession, lui a constamment servi de guide, et son *Guide du Sondeur*, l'ouvrage le plus important et le plus complet qui ait été publié sur cette matière, témoigne de cette alliance de la théorie et de la pratique, qui fait l'ingénieur vraiment fort. La volonté persévérante de quelques-uns, et ce sont alors les esprits le plus sûrs, sait vaincre les difficultés, assurément bien grandes, que l'on rencontre lorsque l'on veut, en l'absence d'une première instruction technique, surmonter les difficultés des grands travaux de recherches.

Personne n'a été, sous ce rapport, plus complet et plus heureux que Degousée : son nom est à tout jamais inséparable des premières applications industrielles de l'art du sondage.

M. Joly d'Argenteuil était plus jeune que Degousée de 6 ans; et pour s'élever à la hauteur qu'il a atteinte, combien aussi ses efforts ont dû être grands! Né dans une position des plus humbles, privé même des bienfaits d'une éducation libérale, il quittait à 13 ans la boutique de son père, simple serrurier de village, et s'embauchait à Paris comme forgeron. Ce forgeron est devenu l'entrepreneur que vous savez; ingénieur par le sentiment sinon par l'instruction, il n'a pas craint d'édifier les Halles centrales de Paris; au moment de son décès il employait aux plus grandes constructions en fer une population de plus de mille ouvriers, et l'on compterait presque par centaines les gares, les marchés, les barrages et les ponts qu'il a faits.

Les constructions en fer, ce sont encore des œuvres de notre âge : M. Joly les a comprises mieux que personne; entre ses mains elles ont toujours réussi, et il restera parmi nous comme le type de ceux qui en ont su tirer le parti le plus utile. Joly

avait le don des proportions exactes ; n'est-ce pas là le mérite qui constitue le véritable ingénieur?

M. P. Jeanneney, en 1833, à sa sortie de l'École centrale, avec diplôme d'ingénieur mécanicien, et, ce qui se pouvait alors, avec certificat de capacité comme constructeur, a commencé, comme tant de nos collègues, sa carrière chez M. Flachat. Après la présente instruction aux travaux pratiques qu'il a reçue sous cette direction habile, M. Jeanneney a exercé, pendant près de 30 ans, la profession d'ingénieur civil dans sa plus large acception et avec une grande supériorité; tantôt attaché à des travaux de chemin de fer ou à des opérations métallurgiques, tantôt à la construction de machines à vapeur ou de moulins, il s'est, vers la fin de sa vie, principalement occupé des usines à gaz; le bulletin de la Société de Mulhouse a publié de M. Jeanneney un mémoire très-important sur les économies à réaliser par la diminution de la pression aux becs ou brûleurs, et les indications de ce mémoire ont été depuis lors consacrées dans quelques procédés récents.

Quant à M. Gerder, qui était né en 1814, nous nous sommes adressé pour le connaître à notre collègue M. Bois, qui jouit ainsi que nous de ce privilége d'être aussi de cette même année 1814 Permettez-moi de me borner à lire la réponse de M. V. Bois ; elle peint M. Gerder de telle façon qu'il sera parfaitement reconnu par tous ceux qui l'ont vu à la Société, dont il a été pendant plusieurs années l'un des secrétaires.

« Gerder était né à Metz, en 1814; et, en sortant en 1836 de l'École centrale, où il a obtenu le diplôme de constructeur, il était le plus savant de sa famille. »

C'était une nature naïve, un peu sauvage et cachant sa timidité sous les dehors de la brusquerie, comme il cachait sa sensibilité sous les affectations de l'indifférence. Paraissant oublier sa famille, pour ne travailler que pour elle, paraissant méconnaître ses amis pour les défendre en leur absence ; un mouton sous la peau d'un dogue, un barreau de bois peint en fer. Il est resté étudiant jusqu'à la fin de sa vie, il travaillait pour voir du nouveau, il souhaitait faire plutôt ce qu'il ne savait pas, pour l'apprendre, que de rester dans le sillon qu'il avait d'abord ouvert.

« Ainsi, pendant plus de dix ans, je l'ai connu faisant des ponts suspendus, soit pour MM Seguin frères, soit pour son propre compte, puis n'en voulant plus entendre parler, quand la théorie et la pratique lui avaient dit leur dernier mot sur ces constructions spéciales; étudiant alors et construisant des chemins de fer; puis, après avoir fait des terrassements, s'enthousiasmant pour les travaux d'art, et quittant les compagnies de chemin de fer quand il pensait n'avoir plus rien à apprendre. Il parcourait, comme vous le voyez, assez rapidement, les sommaires de notre profession, sentant qu'il n'avait pas le temps de s'y appesantir et trouvant encore, dans les derniers temps, le moyen de faire exclusivement de l'architecture, comme si le génie civil n'avait plus rien d'attrayant pour lui. »

M. V. Bois n'a pas voulu dire qu'il avait lui-même dirigé les études et l'exécution du pont de Curel, construit, par Gerder, comme entrepreneur.

M. Paul Mouillard, le plus jeune des cinq collègues que nous avons perdus, était à 36 ans, chef du mouvement au chemin de fer du Nord de l'Espagne; c'est dans cette position que la mort l'a frappé, mais il avait précédemment pris part à un grand nombre de travaux. Il était aussi du petit nombre de ceux qui se sont formés dans les travaux mêmes, et ses premières études techniques datent du moment où il entrait dans les bureaux de l'ingénieur de la construction de la compagnie des chemins de fer de Saint-Germain et Versailles; c'est à cette école célèbre qu'il fit ses premières

armes, en se chargeant des travaux de terrassement d'Argenteuil, d'Auteuil, des Docks et de la gare de Paris. Nous citerons encore, parmi les travaux qui sont dus à notre jeune collègue, l'étude d'un chemin de fer aujourd'hui en cours d'exécution dans l'Amérique méridionale.

Il est toujours trop tôt pour mourir, surtout si les connaissances acquises laissent entrevoir la perspective de grands et longs services à rendre.

Nous sera-t-il permis de faire remarquer que, dans cette énumération des pertes si douloureuses qu'a faites la Société, nous ne trouvons aucun ingénieur sorti de l'École polytechnique? On serait tenté de croire que c'est là encore un des moyens d'empiétement à l'usage de ces envahisseurs, et sans avoir en aucune manière le courage de le leur reprocher, nous pouvons cependant remarquer, avec plaisir qu'ils n'en ont pas le monopole : nous n'avons perdu non plus aucun de nos camarades, parmi les anciens élèves des Écoles d'arts et métiers.

Si l'année qui vient de finir a cruellement éprouvé notre Société, hâtons nous de dire cependant ce qu'elle nous a apporté d'espérances ; nous nous servons à dessein de cette expression, parce que nos nouveaux collègues ne doivent pas oublier qu'ils ne sont vraiment pas des nôtres, tant qu'ils ne nous ont pas fourni, tout au moins, leur premier travail.

Quarante-trois membres nouveaux avaient été reçus en 1861 ; nous n'en avons pour l'année suivante que quarante, en y comprenant les cinq membres sociétaires que vous avez reçus dans votre dernière séance de décembre.

L'examen de la liste de ces nouveaux membres montre, messieurs, que si vous êtes fort réservés quand il s'agit d'admettre un nouvel ingénieur civil, vous savez cependant accepter le mérite partout où il se trouve. En cherchant dans les titres des candidats, nous remarquons que 23 noms appartiennent à l'École centrale, 1 seul aux Écoles d'arts et métiers, 2 à l'École polytechnique, les 14 autres sont des industriels éminents, ou des ingénieurs qui se sont déjà distingués dans la pratique des travaux; les uns ont suivi les cours de l'École des mines, d'autres ceux de l'École de Saint-Étienne; quelques-uns ont acquis leur instruction technique dans des établissements étrangers.

L'École centrale des arts et manufactures, qui forme spécialement des ingénieurs pour l'industrie, continue toujours à être en grande majorité dans les nouvelles admissions, et s'il est vrai que l'École polytechnique y entre pour sa petite part, vous aurez à vous demander s'il est aussi vrai que, de ce côté, le flot monte; soyez attentifs cependant aux travaux de la Société; soyez plus assidus encore à ses séances, et je vous crois bien assez forts pour résister à tout envahissement, si tant est que cela soit bien nécessaire, et que ces distinctions puissent conserver la moindre valeur parmi vous.

Messieurs, pour terminer la tâche qui m'est imposée par votre règlement, j'ai encore à vous rendre compte des faits qui se sont produits dans les élections. J'avais un moment hésité, dans la crainte de réveiller des dissentiments qui sont aujourd'hui lettre morte, après s'être produits au grand jour et en toute liberté Ces hésitations ont dû se taire devant les avantages que la Société des ingénieurs civils peut retirer de l'étude attentive des faits et surtout de leurs résultats, bons et mauvais.

Le meilleur et le plus précieux de ces résultats, c'est d'avoir montré que la Société des ingénieurs civils pouvait compter, à un moment donné, sur le concours dévoué de plus de 250 de ses membres; elle a fait preuve en cette circonstance d'un grand esprit de corps; elle a montré toute sa vitalité; et, quand les discussions techniques qu'elle provoquera seront suivies avec la même ardeur, lorsqu'elles donneront lieu à

autant d'appréciations, si bien écrites et si nettement formulées, ces discussions compteront, à n'en pas douter, pour beaucoup, dans les solutions à intervenir. Vous savez maintenant votre force, et vous seriez bien coupables si vous ne vous en serviez, en toute circonstance, dans l'intérêt des grandes questions d'intérêt public, pour mieux asseoir et pour illustrer votre profession.

Un des résultats mauvais de ces scrutins, c'est d'avoir apporté dans la composition de votre comité, non pas des adjonctions nouvelles, elles sont toutes excellentes, mais des éliminations regrettables : pendant l'année tout entière, les séances du comité ont été suivies, par tous les membres qui le composent, avec le même zèle et le même esprit de bonne confraternité. Il est toujours regrettable que les hommes qui ont acquis l'expérience de certaines affaires en soient momentanément détournés. Heureusement le mal porte avec lui son remède ; chaque élection a ses entraînements et ses erreurs, et cette fois elles ne se sont pas étendues, Dieu merci, jusqu'à nos anciens vice-présidents, parmi lesquels il est bien désirable que la Société fasse choix de ses présidents à venir.

Quant au fait capital des élections, les bulletins de vos séances vous en ont fait connaître le résultat définitif. M. le Général Morin, après avoir été reçu membre sociétaire, a réuni la majorité des suffrages dans un vote auquel ont pris part 227 membres de la Société, présents à votre séance du 19 décembre. Cette élection aurait été unanime, si les inquiétudes, que nous croyons exagérées, de quelques-uns n'avaient vu, dans cette élection, une sorte d'empiétement sur les droits des ingénieurs civils sortis de l'École centrale. C'est à cette occasion que se sont produites les craintes, auxquelles nous avons fait allusion déjà, de la prédominance des anciens élèves de l'École polytechnique dans les choses qui sont du domaine du génie civil. Nous n'admettons pas, pour notre part, qu'une pareille distinction soit sérieuse ; vous continuerez à accepter avec plaisir le concours de tous nos confrères, sans vous inquiéter de la source à laquelle ils auront puisé leur instruction ; plus nous serons nombreux, plus nous serons forts ; et, bien loin de chercher, dans les conditions de notre origine, les éléments sérieux de notre influence, nous les trouverons, soyez-en sûrs, dans un esprit vraiment libéral et le seul digne de la condition sociale que nous représenterons ainsi dans ses conditions les plus diverses. Si nous élevons l'esprit de nos discussions, elles auront, en dehors de nous, leur influence ; et, quand bien même elles auraient quelque chose de cet esprit que l'on a qualifié d'esprit polytechnique, nous ne ferions que mieux ressortir ce que doit être notre rôle dans les grands travaux de notre profession.

L'élection de M. le Général Morin doit exercer une grande influence sur le caractère de nos travaux habituels ; elle honore celui que nous avons nommé, en même temps qu'elle ajoute à la considération que notre Société s'est acquise ; elle est, en cela, un grand bienfait, et nous devons être fiers de voir bientôt notre président présider, dans une autre enceinte, aux travaux de la compagnie la plus illustre de notre époque.

Un de nos collègues, sans doute un des plus jeunes, avait mis sur son bulletin de vote : M. Morin, général en chef des ingénieurs civils ; il a peut-être, sans le vouloir, exprimé une idée parfaitement juste et qui est tout à fait dans les sentiments d'un grand nombre d'entre nous. Si chaque année, et tout en conservant le principe essentiellement bon du renouvellement de la présidence, les ingénieurs civils formaient un corps aussi uni, aussi compacte, aussi ardent, que le sont d'autres corps, ils formeraient, mon Général, une noble troupe, capable des plus grandes choses, alors sur

tout qu'elle serait conduite par la vieille expérience d'un homme qui a vécu dans les rangs de tous les travailleurs, civils et militaires, qui se sont voués aux progrès des connaissances techniques.

Voilà pourquoi, mon Général, nous devons une vive gratitude à M. Flachat, l'un des plus illustres et des plus aimés parmi les fondateurs de cette Société, pour la bonne pensée qu'il a eue de vous appeler à notre tête; voilà pourquoi, nous associant aux idées si bien exprimées par le Directeur même de l'École centrale des arts et manufactures, nous devons vous savoir gré d'avoir bien voulu, au sortir de votre carrière militaire, vous charger de diriger, pendant une année, nos discussions; vous saurez les rendre plus approfondies; vous avez l'autorité scientifique nécessaire pour qu'elles restent exclusivement techniques et impersonnelles; vous avez l'esprit d'initiative qui convient pour qu'elles roulent toujours sur les questions les plus utiles et d'une plus grande actualité; vous avez, par-dessus tout, ce sentiment de la solidarité nécessaire entre tous les membres d'une même corporation; vous serez notre Général, et nous saurons que nous pouvons compter sur votre concours moral ou scientifique, toutes les fois que les ingénieurs civils en auront besoin.

Lorsqu'on vous a demandé si vous voudriez prendre la direction de la Société pour l'année 1863, vous avez répondu, avec cette netteté d'esprit qui vous distingue, que quand des hommes tels que ceux qui avaient été jusqu'alors nos présidents, vous faisaient l'honneur d'une telle proposition, vous n'aviez pas d'autre choix à faire que de vous mettre à leur disposition; vous n'avez pas même reculé devant la nécessité de la séance d'aujourd'hui, dans laquelle l'investiture ne peut vous être donnée que par le président de l'année qui vient de finir, c'est-à-dire par l'un de vos subordonnés, en dehors de cette enceinte, qui s'enorgueillissait déjà d'avoir pu prendre quelque petite part à vos importants travaux.

Messieurs, je dois vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait l'an dernier en m'appelant inopinément à diriger vos discussions; je vous remercie encore davantage de la bienveillance que vous m'avez toujours témoignée dans nos nombreuses réunions : cette mission m'a été extrêmement agréable, elle m'a valu de représenter à Londres, d'une manière bien insuffisante sans doute, le corps des ingénieurs civils dans plusieurs circonstances. C'est une grande époque dans ma vie; mais j'aurais reculé devant tous ces avantages si j'avais su qu'il me faudrait un jour, et en rentrant dans mon milieu ordinaire, avoir assez d'assurance pour oser proclamer devant vous M. le Général Morin comme mon successeur dans une position pour laquelle tout indiquait que je n'aurais jamais dû le suivre que de bien loin.

M. Tresca cède le fauteuil à M. le Général Morin.

Messieurs,

En m'appelant à l'honneur de présider votre Société, vous avez voulu sans doute caractériser d'une manière plus formelle encore que par le passé l'alliance intime qui, pour le succès des travaux de l'ingénieur civil, doit exister entre la science et la pratique. Vous n'aviez cependant, sous ce rapport, que l'embarras du choix parmi tant

d'ingénieurs distingués, dont les preuves sont faites depuis longtemps à ce double point de vue, et les suffrages qui ont été donnés à un autre membre de la Société ne se sont certes pas éloignés de la même pensée.

Profondément touché de l'initiative prise en cette circonstance par les hommes les plus éminents, la plupart fondateurs de la Société, j'ai accepté avec reconnaissance ce témoignage de leur sympathie pour les efforts que, depuis plus de trente ans, il m'a été donné de poursuivre en cherchant à comparer les résultats de la théorie avec les faits de l'expérience et de la pratique.

Pour exécuter et mener à fin de semblables recherches, dont l'objet varie presque à l'infini, il m'a fallu un concours de circonstances favorables que ne peut jamais rencontrer un ingénieur civil engagé dans les devoirs de sa profession. Officier d'artillerie, appelé de bonne heure à ce titre à m'occuper des questions qui se rattachent aux forges, aux fonderies diverses, aux manufactures d'armes, aux arsenaux et aux poudreries; chargé à l'école de Metz des fonctions de professeur du cours de machines, créé par mon illustre maître et ami M. Poncelet, je n'aurais pu cependant me livrer aux nombreuses recherches expérimentales que j'ai entreprises si le ministère de la guerre, sur la demande du Comité d'artillerie, n'avait, pendant plusieurs années, fourni non-seulement à moi-même pour mes propres travaux, mais encore aux diverses commissions dont j'ai fait partie, des moyens en quelque sorte illimités en matériel, en personnel et en ressources pécuniaires.

Si je signale à votre attention cette libéralité de l'arme à laquelle j'ai eu l'honneur d'appartenir pendant 47 ans, c'est qu'elle est d'un bon exemple pour d'autres corps qui ne favorisent pas toujours le travail et l'étude comme ils méritent de l'être.

Devenu plus tard professeur de mécanique appliquée au Conservatoire des arts et métiers, et directeur de cet important établissement, j'ai eu le bonheur d'y trouver pour collaborateurs un corps de professeurs illustres, aussi infatigables que dévoués à la science, dont l'enseignement, avidement suivi chaque année par plus de 160,000 auditeurs, sait se maintenir à la fois au niveau des progrès de la science et des arts industriels.

Aux laboratoires de physique, de chimie et d'agriculture, nous avons pu joindre une vaste galerie d'expérimentation, sorte de laboratoire mécanique où, dans les limites de nos moyens, nous soumettons à la sanction, et malheureusement aussi parfois à la critique de l'expérience, les appareils nouveaux qu'on présente à notre examen.

Vous avez pu voir, messieurs, dans les *Annales du Conservatoire*, quels soins consciencieux apporte à ces recherches, ainsi qu'à la surveillance et à l'exécution de toutes ces expériences, l'honorable président que je remplace à ce fauteuil, et vous ne vous étonnerez pas que je profite de l'occasion qui m'est offerte de lui exprimer ici ma reconnaissance pour un dévouement à la science qui ne connaît d'autres bornes que celles que la nature a mises à ses forces.

Cet art de l'expérimentation, si attrayant pour ceux qui peuvent s'y livrer et qui leur cause de si pures jouissances, quand il les conduit à découvrir ou seulement à vérifier quelques lois des phénomènes naturels, a pour l'ingénieur ce grand mérite, qu'il lui donne une confiance, une foi complète dans les règles qu'il en déduit. Appuyé sur ces démonstrations palpables, qui lui viennent des faits, il reconnaît que la manifestation des lois de ces phénomènes physiques ou mécaniques n'exige pas toujours l'emploi de ce langage scientifique, si clair et si utile pourtant, qu'on appelle le

calcul : il n'est pas réduit, comme me le confessait un jour un professeur distingué, à croire que, sans le secours du calcul intégral, on n'aurait même pu découvrir la loi de la chute des graves.

Mais il est dans la destinée de l'homme d'acheter toutes ses jouissances au prix de quelque douleur, et l'étude de la vérité ne le met pas à l'abri de cette charge de l'humanité. Si l'on parvient à mettre en évidence que les lois qui pendant longtemps ont régi quelque grand service public n'ont été basées que sur des raisonnements plus spécieux que conformes à l'expérience, on se voit exposé à déplaire à des corps distingués et puissants; si l'on prouve indiscrètement à quelque administration qu'elle fait fausse route dans certaines circonstances, qu'elle pourrait améliorer certaine partie de son service, elle vous engage parfois, plus ou moins poliment, à ne pas vous mêler de ses affaires. Les inconvénients sont encore bien plus sensibles, sinon aussi graves, quand il s'agit de l'examen des inventions, des appareils, des machines dont il faut apprécier et déterminer la valeur, et il n'est pas rare que l'expérimentateur consciencieux ne recueille pour prix de ses soins que des rancunes assez vives. Il faut qu'il sache prendre son parti de ces faiblesses humaines, et qu'en n'oubliant pas les égards dus à des corps, à des institutions respectables, ainsi qu'aux personnes, il ne leur sacrifie jamais la vérité, qui, semblable au soleil, doit luire pour tout le monde.

Après de longues espérances, nous venons de voir se réaliser nos vœux pour le développement du Conservatoire des arts et métiers. L'initiative personnelle de l'Empereur et la libéralité de la Chambre des députés, qui ne nous a jamais fait défaut, vont lui donner une extension réclamée depuis longtemps par tous les services, et nous espérons qu'il nous sera de plus en plus facile de le mettre, sous tous les rapports, à la disposition des travailleurs sérieux et consciencieux : c'est vous dire, messieurs, que vous y serez chez vous.

En vous parlant de la libéralité avec laquelle le ministère de la guerre favorise les recherches scientifiques qui souvent n'ont pas toujours eu pour but immédiat les questions militaires, qu'il me soit permis de vous montrer par quelques exemples que les arts de la guerre ne sont pas, autant qu'on pourrait le croire, différents de ceux de la paix : ne sait-on pas d'ailleurs que la paix prépare la guerre, et que toujours la guerre ramène la paix.

Beaucoup d'entre vous, messieurs, sans s'en douter peut-être et certainement sans en éprouver le moindre regret, ont contribué au succès de nos armes : sans le concours puissant des chemins de fer qu'ils ont créés, sans l'activité des services qu'ils ont dirigés, Sébastopol n'eût peut-être pas succombé après deux ans de siége, et l'armée d'Italie n'eût pas été réunie, armée et approvisionnée avec une si prodigieuse rapidité.

A l'inverse, nos poudreries, presque toutes entièrement reconstruites depuis 25 ans, par un aménagement plus convenable de leurs eaux, par la construction de moteurs basés sur les principes de la science, ont vu leur puissance de production quintuplée, en même temps que leurs produits se sont améliorés, au point de ne redouter aucune comparaison avec ceux de l'étranger. Sans ces perfectionnements, qui ont permis de porter la production de la poudre de mine de 500,000 kilogrammes qu'elle était en 1830 à près de 6,000,000 de kilogrammes qu'elle atteint aujourd'hui, et qu'elle dépassera bientôt, les immenses travaux de chemins de fer eussent peut-être été entravés ou ralentis de la manière la plus fâcheuse par le défaut de cet agent, indispensable en beaucoup de cas.

Je me borne à ces exemples; mais vous me permettrez d'ajouter que, pour l'exécution des grandes améliorations qu'elle a introduites et qu'elle poursuit dans tant d'établissements, il a fallu que l'artillerie trouvât dans ses rangs un personnel d'ingénieurs qui, initiés aux conditions que devaient remplir les produits, fussent en même temps capables d'étudier, de rédiger les projets aussi bien que de les exécuter dans tous leurs détails. Ces officiers-ingénieurs, en grand nombre dans l'arme, savent joindre à la science et à l'expérience le mérite assez rare de maintenir les dépenses dans les limites prévues de leurs devis, et je ne serais pas embarrassé de présenter à votre adoption plusieurs de mes frères d'armes dont les connaissances variées pourraient souvent éclairer bien des questions.

Mais si parmi vous quelques esprits un peu exclusifs s'imaginaient que je me propose d'introduire dans vos rangs l'élément militaire, qu'ils se rassurent : mon but a été seulement de vous montrer la grande utilité et les heureux fruits de cette instruction scientifique élevée que donne l'École polytechnique quand elle est complétée, au point de vue des services publics, par celle que fournit notre grande École d'application de l'artillerie et du génie, depuis surtout que son enseignement a été confié à des officiers pris dans les deux armes. De là sortent en effet tous les ans ces jeunes officiers instruits, dévoués, propres aux travaux de la paix comme aux luttes du champ de bataille, qui, sans quitter l'épée, savent au besoin manier le compas et l'équerre de l'ingénieur.

Ce que l'École de Metz fait pour l'armée, votre École centrale des arts et manufactures, fondée en 1831 par l'initiative libre et indépendante de quelques hommes de science et de dévouement, le produit avec un égal succès pour le génie civil. Alliant dans une juste mesure l'étude variée des sciences et celle de leurs applications aux diverses branches du génie civil, elle a fourni à la France cette armée d'ingénieurs dont les chefs m'entourent et dont les œuvres parlent assez haut pour qu'il soit superflu de les citer.

Après avoir vécu 30 années de sa vie propre, l'École centrale est devenue un établissement de l'État, et je ne puis que souhaiter que sous ce nouveau régime elle ait autant de succès que dans sa période de liberté.

Parmi les grands services que l'École centrale a rendus aux travaux publics et au pays, il en est un qui n'a peut-être pas été assez remarqué, et que, sans blesser aucune susceptibilité, je crois pouvoir indiquer ici : c'est que, par sa destination même et par la direction de ses études, qui en était la conséquence, elle a contribué très-heureusement à faire entrer l'enseignement des écoles des services publics dans une voie beaucoup plus appropriée aux besoins de la pratique, sans lui rien faire perdre d'ailleurs de sa valeur scientifique.

Dans une sphère plus restreinte, nos écoles d'arts et métiers, où les élèves n'arrivent qu'avec une instruction tout à fait élémentaire, ont aussi contribué, pour une large part, aux progrès de notre industrie. La perfection avec laquelle le dessin y est enseigné, en familiarisant les élèves avec la connaissance des formes et des proportions, la pratique du travail de l'atelier et des règles usuelles, y donnent, à ceux que distingue une capacité spéciale, une aptitude telle que nous devons à ces écoles un grand nombre de nos ingénieurs les plus distingués, qui, entrés simples soldats dans l'armée industrielle, y ont dignement gagné leurs épaulettes. Vous vous êtes empressés de leur ouvrir l'entrée de votre société, et je serai pour ma part heureux de les voir assister à nos séances, car je sais par une longue expérience combien on peut avec eux acquérir de renseignements précieux.

En dehors des écoles, la concurrence et la rivalité, renfermées dans les limites de la sagesse et de la dignité des hommes de valeur, n'ont pas été moins favorables aux progrès de l'art de l'ingénieur, et, sans rien vouloir enlever au mérite de nos rivaux étrangers, nous croyons pouvoir dire que l'heureuse alliance des principes scientifiques et des connaissances pratiques qui caractérise en France les ingénieurs civils, ne se trouve presque nulle part arrivée au même degré.

Messieurs, persévérons et affermissons-nous donc dans cette voie qui conduit à la solution de presque toutes les questions que l'ingénieur peut avoir à résoudre.

Si la théorie, produit d'une lumière divine dont l'homme est doué, doit toujours nous servir de guide et de flambeau, n'oublions pas que cette lumière ne peut nous éclairer que jusqu'à des limites restreintes, et que c'est dans la matière elle-même, dans les propriétés dont il l'a doué, que le Créateur a caché les vérités que l'expérience seule peut nous faire constater d'une manière certaine, et dont la connaissance sert ensuite de base à de nouvelles déductions.

Telle a toujours été, Messieurs, la marche des progrès scientifiques durables de l'esprit humain : Copernic, Galilée, Newton, n'ont pas suivi d'autre route, et les lois, les doctrines qu'ils ont ainsi basées et formulées d'après l'accord de la théorie et de l'observation sont restées et seront à jamais immortelles comme leur mémoire.

Associer sans cesse, dans les limites de nos facultés, la science et la pratique, la théorie et l'observation, renfermer les conséquences de l'une et les déductions de l'autre dans les limites propres à chacune d'elles, marcher avec prudence à l'aide de ces deux flambeaux à la recherche de la vérité, telle doit être la règle de conduite de l'ingénieur civil dans l'étude de toutes les questions qui lui sont soumises.

Si, comme je le pense, vous partagez cette manière de comprendre l'étendue des devoirs de votre honorable profession ; si cette Société s'y maintient avec fermeté, en écartant de sa voie les conceptions vagues, les aperçus hasardés, elle verra grandir de jour en jour la position qu'elle a déjà prise parmi les Sociétés savantes, et l'honneur de lui appartenir sera de plus en plus ambitionné.

MM. Bouquié et David ont été reçus membres de la Société.

Séance du 23 Janvier 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. le Président annonce que M. Hubert William, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur.

Il annonce ensuite le décès de M. Petit de Coupray.

M. Petit de Coupray (Aimé-François), né en 1799, est entré en 1813 à l'École polytechnique. Il prit part à la défense de Paris en mars 1814.

Sa promotion ayant été licenciée en 1816, il chercha à se faire une carrière dans l'industrie.

Il s'occupa d'abord de l'éclairage au gaz ; il fut ensuite, de 1837 à 1856, secrétaire du conseil d'administration du chemin de fer d'Orléans.

On lui doit la publication de l'*Annuaire officiel des chemins de fer*, depuis 1846 jusqu'en 1862.

Il était caissier du chemin de fer du Nord depuis 1856, lorsque la mort l'a enlevé à ses travaux, à ses amis et à ses collègues, parmi lesquels il laissera d'unanimes regrets.

M. Petit de Coupray était chevalier de la Légion d'honneur, décoré de l'Ordre de Léopold, de Belgique, et de celui de Saint-Maurice-Saint-Lazare, de Sardaigne.

M. le Président annonce que le comité a décidé, dans sa dernière séance, qu'une souscription serait ouverte au siége de la Société, en faveur des ouvriers sans travail dans l'industrie cotonnière, et il invite les membres à y prendre part.

L'ordre du jour appelle la discussion *sur la navigation par la vapeur sur les canaux*. M. Faure, qui devait prendre la parole à cette occasion, cède son tour à M. Nozo pour la lecture d'une note *sur les tentatives de production et d'application des aciers fondus, faites au chemin de fer du Nord.*

M. Nozo dit que la Compagnie du chemin de fer du Nord a fait, dans ses ateliers de La Chapelle, quelques essais de production d'acier par différentes méthodes, mais sans leur donner de suite, les premiers résultats obtenus n'ayant pas fait entrevoir de réussite.

Il rappelle d'abord que, par un procédé dû à M. Bertrand Geoffroy, de Dax, consistant à traiter les tournures de fer, les rognures de tôles et les petits riblons avec du charbon de bois, dans une espèce de chaudron à hauts bords, on obtenait des fers aciéreux à grain fin, très-homogènes et probablement très-propres à la fabrication des bandages, mais trop durs à travailler au petit marteau de forge pour entrer dans la consommation courante.

Par le procédé Uchatius, qui consiste à décarburer la fonte dans des creusets en y ajoutant des oxydes métalliques, on a obtenu des aciers impropres à la fabrication des outils parce qu'ils manquaient de corps. Ces aciers ne se soudaient pas par eux-mêmes et le soudage sur fer était plus apparent que réel.

On a cherché également à pratiquer la fusion des aciers par le procédé de M. Sudre; mais les fours à réverbère dans lesquels on a opéré se sont détériorés, et il paraît que cet écueil n'a pas été complétement évité dans d'autres essais entrepris à l'usine de Montataire.

Enfin on a tenté quelques essais de cémentation du fer par la méthode indiquée par M. Frémy; mais sans résultats. Celle de M. Caron paraît devoir mieux réussir.

M. Nozo développe ensuite les divers essais d'application des aciers commerciaux.

Ces essais ont porté sur les divers aciers suivants : naturels, cémentés, cémentés fondus, puddlés, puddlés fondus, Chenot, Bessemer, Krupp, etc.

On les a employés pour outils, pièces mécaniques, ressorts, essieux coudés et droits, bandages de roues, rails, contre-aiguilles, pattes-de-lièvre et pointes de croisement.

Les résultats obtenus peuvent se résumer ainsi :

Outils. — Aucun des aciers nouveaux, Chenot, Uchatius, Bessemer, puddlés fondus, fondus au tungstène, n'a pu donner couramment pour la construction des outils des résultats comparables à ceux fournis par les aciers Hunstmann que la Compagnie emploie dans la proportion de 90 pour 100 sur sa consommation totale.

Le côté séduisant des nouveaux produits, le bon marché, ne peut avoir, du reste, qu'une bien faible importance pour cette application, dans laquelle la main-d'œuvre constitue la plus forte partie du prix de revient.

Ressorts. — Trois espèces d'aciers pourront sans doute entrer en concurrence sérieuse dans la fabrication des ressorts.

Les aciers de cémentation corroyés, les aciers puddlés fondus, les aciers Bessemer.

Les premiers offrent plus de régularité que les deux autres; mais ils laissent à désirer sous le rapport du soudage des mises et un peu sous celui de l'élasticité.

Les aciers puddlés fondus donnent assez souvent de bons résultats; mais ils sont trop irréguliers jusqu'à présent pour fournir des ressorts irréprochables.

L'acier Bessemer est d'une production commerciale encore trop récente pour qu'il soit permis de lui assigner sa place et sa valeur relative. Toutefois il est possible que de nouveaux progrès introduits dans la fabrication l'amènent, ainsi que les aciers puddlés fondus, en possession définitive du marché.

L'acier de cémentation fondu semble devoir présenter plus qu'aucun autre toutes les conditions imposées; mais son prix élevé le rend aujourd'hui inadmissible pour la construction des ressorts.

Pièces de machines. — On a appliqué sans succès l'acier cémenté fondu aux *boulons d'articulation de bielles* et l'acier puddlé fondu aux *tiges de piston.* Maintenant on fait les premiers en fer cémenté trempé et les tiges de piston simplement en fer, et on obtient de bons résultats.

Des boutons d'accouplement en acier Krupp ont eu une durée peu supérieure à celle de boutons semblables en fer cémenté et trempé.

Les glissières de têtes de piston en acier puddlé fondu ou de cémentation fondu font un très-bon service.

Essieux coudés. — Les applications de l'acier aux essieux coudés n'ont pas encore donné de résultats concluants.

On a constaté 2 ruptures sur 12 essieux en acier Krupp après des parcours de 41,000 kilomètres pour un premier cas, et de 270,000 kilomètres pour l'autre cas.

La première rupture a eu lieu sous des machines à marchandises de 30 à 33 tonnes d'adhérence, la seconde sous des machines mixtes de 22 tonnes d'adhérence.

Le parcours actuel des essieux restant en service dépasse 100,000 kilomètres sous les premières machines, et 230.000 sous les secondes; d'un autre côté, la moyenne générale du parcours des essieux en fer, rompus depuis l'origine de l'exploitation, est de plus de 100,000 kilomètres avec limites extrêmes de 41,000 et 190,000 kilomètres. D'autres essieux, en fer, encore en service, sous des machines à marchandises de 23 tonnes d'adhérence, et à trois essieux couplés, ont atteint, dès à présent, des parcours de 363,000 kilomètres.

Essieux droits. — Il n'est pas douteux, d'après les faits, que pour les essieux de wagons, le fer de bonne qualité ne soit préférable à l'acier essayé, puddlé fondu. On constate, en effet, dans les essais de réception, que la résistance est sensiblement égale dans les limites d'élasticité des deux métaux; mais la rupture de l'acier est toujours plus prompte. Le choix du métal sera bien plus facile à faire encore si on fait intervenir la question de prix; on trouve alors que 1000 kilogrammètres de résistance à la rupture au mouton coûtent 3 fr. 90 avec l'acier puddlé fondu et 0 fr. 87 à 0 fr. 98 seulement avec le fer.

Bandages de roues. — L'application de l'acier à la construction des bandages de roues paraît jusqu'à présent avoir été la plus heureuse; le tableau suivant résume les parcours moyens, jusqu'au retrait de garnitures des locomotives à trois essieux couplés, chargés de 13 tonnes, et qui ont été retirées du service pendant les quatre années 1857 à 1860.

				Fournissant un parcours moyen de
6	garnitures	en acier Krupp.....	2f 20	118,750 kilom.
11	—	acier naturel d'Allevard.....	1 06	68,896
11	—	acier puddlé fondu, Petin Gaudet, à	1 70	63,984
7	—	produit mixte Verdié.....	1 16	33,203
31	—	fer aciéreux Diétrich.....	0 74	52,735
40	—	fer *fin grain* Petin Gaudet.....	0 66	49,455

Rails, contre-aiguilles, pattes-de-lièvre, pointes de croisement. — La Compagnie a appliqué en pattes-de-lièvre et contre-rails d'aiguille environ 400 tonnes d'acier puddlé fondu français et 80 tonnes environ de rails anglais, dont 60 tonnes en acier Bessemer et 20 tonnes en acier puddlé fondu.

Elle a également posé quelques pointes en acier fondu moulé et en acier fondu martelé.

Il est permis de supposer, d'après la manière dont se comportent les pièces en service, que les résultats de ces applications seront avantageux.

Pièces moulées. — L'acier fondu moulé paraît avoir une résistance notablement supérieure à celle de la fonte, elle sera encore augmentée lorsqu'on sera parvenu à le couler sans soufflures.

A la suite d'expériences sur la résistance comparative de poutres en fonte et de poutres en acier puddlé fondu et cémenté fondu, la Compagnie des Ardennes a commandé, à titre d'essai, à MM. Petin et Gaudet, sur des dispositions nouvelles, dues à M. Poulet, inspecteur du matériel des voies au chemin de fer du Nord, *deux* plaques tournantes en acier puddlé fondu.

M. Tresca demande la parole pour appuyer, par des considérations théoriques, les résultats pratiques mis en évidence par la note de M. Nozo.

Dans son opinion, il était impossible qu'on n'arrivât pas à formuler des conclusions dans le sens de celles développées dans la note. — Beaucoup d'appréciations ont été publiées pour établir que l'acier, résistant plus que le fer, devait nécessairement le remplacer dans la plupart de ses applications ; on a même été jusqu'à proposer l'emploi de l'acier trempé dans les constructions, par cette raison que sous cet état particulier le métal ne romprait que sous une charge plus grande.

Or, il est parfaitement reconnu que l'acier ne remplace pas toujours le fer avec avantage ; des expériences nombreuses ont prouvé qu'il avait à peu près le même coefficient d'élasticité, c'est-à-dire qu'il donne lieu, à très-peu près, aux mêmes allongements pour les mêmes efforts ; par conséquent on est conduit, par le calcul, à donner aux pièces en acier les mêmes dimensions qu'à celles en fer, sans qu'il en résulte, quant à la rupture, une sécurité plus grande ; car il faut, en général, moins de travail pour rompre une barre d'acier qu'une pareille barre de fer.

L'acier ne peut donc être avantageusement employé que dans des circonstances spéciales, pour des pièces soumises à l'usé, et pour tous les cas où on aurait à l'employer à cause de sa dureté qui le rend propre à résister mieux que toute autre matière aux actions superficielles.

Les bandages de roues sont dans ce cas, et c'est en effet pour les bandages seulement que M. Nozo constate de bons résultats.

L'acier peut encore servir utilement à la confection des grosses pièces dans lesquelles les dimensions sont déterminées par des considérations autres que celles du calcul, parce que ces pièces, lorsqu'elles offrent une grande masse, et qu'elles ont des dimensions exagérées, exigent un travail spécial qui peut donner toute assurance quant à leur complète homogénéité.

Un des plus mauvais emplois de l'acier est l'application qu'on en a faite aux câbles. Ces pièces, calculées en général avec parcimonie, ont donné des résultats détestables; on n'a obtenu que des câbles excessivement cassants, et on les remplace partout par des câbles en fer.

En résumé, les faits signalés par M. Nozo, si défavorables qu'ils soient, quant aux applications de l'acier dans la construction des machines, n'ont démontré que ce que la théorie pouvait faire prévoir.

M. Steger trouve que les expériences faites au chemin de fer du Nord, sur les aciers Krupp, sont trop peu nombreuses, elles constatent une rupture sur six essieux; tandis qu'au chemin de fer d'Orléans, sur vingt essieux mis en service, pas un seul ne s'est rompu.

Il demande, en outre, si les pièces essayées ne présentaient pas des angles vifs qui coupent les fibres et préparent des ruptures.

M. Nozo répond qu'il ne cherche pas à tirer de conclusions générales, qu'il se borne à constater les faits observés au chemin de fer du Nord. Il croit également que les angles vifs ou les arrondis trop petits prédisposent à la rupture et sont par suite une cause de proscription de l'acier pour les pièces qui exigent ces dispositions.

M. Petiet fait remarquer que les essais faits au chemin de fer du Nord sont comparatifs; que les essieux en fer observés, en beaucoup plus grand nombre que les autres, donnent relativement moins de rupture. Il dit que la question de prix vient encore augmenter les mauvais résultats fournis par les essieux en acier, puisqu'ils résistent moins et coûtent le double. Il lui paraît donc certain que pour ces pièces l'acier ne vaut pas le fer.

Il constate, d'autre part, que les bandages en acier Krupp sont très-supérieurs à ceux faits en acier français.

Il engage M. Steger à communiquer les résultats des expériences faites au chemin de fer d'Orléans; on aura ainsi un plus grand nombre de résultats comparatifs, et la question n'en sera que mieux éclaircie.

M. Limet pense qu'il serait utile, pour éclairer et élever la discussion, de faire imprimer le mémoire de M. Nozo. Il croit prématuré de tirer des conclusions de cette note, et trouve que M. Tresca condamne trop généralement l'acier. Les applications sont trop nouvelles, et, si elles ont été si nombreuses, cela tient surtout à ce que le fer laissait à désirer.

M. le Président trouve également que M. Tresca est un peu trop exclusif. S'il est vrai que les coefficients d'élasticité des deux métaux sont sensiblement égaux, que le meilleur fer et le meilleur acier se valent; sous ce rapport, il faut cependant remarquer, en faveur de ce dernier, qu'il peut subir des allongements beaucoup plus considérables sans que son élasticité soit altérée.

M. le Président constate qu'en tout cas la fabrication de l'acier aura beaucoup contribué à l'amélioration de celle du fer. Dans son opinion, les aciers puddlés, corroyés, ne sont souvent pas autre chose que des fers très-supérieurs. Il a constaté, en effet, que ces aciers, employés au cerclage des canons, deviennent après le corroyage et le forgeage des fers très-doux d'excellente qualité.

Mais les aciers fondus bien martelés deviennent aussi très-tenaces. Cette observation ne s'applique pas aux grosses pièces; l'acier est dur à la forge, et alors l'action du marteau ne pénètre pas dans la masse. Au contraire, les petites pièces, bien martelées dans toutes leurs parties, deviennent très-résistantes.

Cette assertion est démontrée par des essais faits sur un canon en acier Krupp. — Ces essais, dont M. Callon a rendu compte dans la séance du 6 novembre 1857, ont démontré, avec la dernière évidence, que le métal était très-tenace.

M. Tresca serait absolument de l'avis de M. le Président, s'il disait que l'acier est surtout excellent lorsqu'il est ramené à un état voisin de celui du meilleur fer.

Mais, dans des essais comparatifs faits sur le fer et l'acier, il n'a pas trouvé pour celui-ci des allongements aussi considérables que pour le premier, avant la rupture, et à ce point de vue la rupture de l'acier a toujours eu lieu plus tôt que celle du fer, et dans la plupart des cas la rupture a été déterminée pour l'acier avec une quantité de travail moindre.

Or, s'il est vrai que dans la limite d'élasticité, le fer est préférable à l'acier, s'il est vrai encore que pour le travail de rupture le fer exige une action mécanique plus considérable avant de se rompre, il est évident que l'emploi du fer devra être souvent préféré.

M. le Président ne partage pas entièrement l'avis de M. Tresca; il admet, comme lui, que la résistance vive de l'acier à la rupture est moins considérable que celle du fer; mais l'acier l'emporte de beaucoup quand on reste dans les limites d'élasticité des deux métaux. Les coefficients sont à peu près équivalents, et l'acier pouvant dans ces limites supporter un effort presque double, il supporte par suite un travail double avant que son élasticité soit altérée.

M. Tresca pense que cette loi peut se vérifier pour certains aciers très-doux qui se rapprochent beaucoup du fer, mais qu'ils sont très-rares. — L'industrie des aciers est peu avancée, ses produits sont extrêmement variables, et elle est incapable de produire à coup sûr une qualité déterminée. Elle ne peut même, sans essais préalables, garantir la nature d'un produit fabriqué.

Dans nos essais du Conservatoire, des aciers choisis, et fournis pour durs, se sont trouvés doux, et l'inverse s'est présenté plusieurs fois.

Ces assertions trouvent leur confirmation dans le peu de développement que prend la construction des chaudières en tôle d'acier, pour lesquelles il faut de l'acier tenace et élastique qu'on ne peut pas produire avec facilité.

On n'a pas mieux réussi pour les câbles, qui exigent une qualité semblable; ceux essayés se sont divisés en petits fragments après une durée de service très-restreinte; il faut craindre d'arriver à d'aussi mauvais résultats quand on voudra alléger les pièces de machines.

Il n'est donc pas douteux que le fer est, quant à présent, d'un emploi général plus avantageux.

M. Faure craint de voir se produire, contre l'emploi de l'acier, une réaction trop vive et qui ne serait pas motivée. A son avis, on exagère les défauts de l'acier. D'abord, son coefficient d'élasticité est supérieur à celui du fer. Les pièces d'acier peuvent donc avoir des dimensions moindres que celles de fer. Il pense que certaines pièces essayées étaient mal fabriquées; d'ailleurs, les pièces de fer auxquelles on les compare, après avoir été confectionnées avec du fer choisi et des soins tout spéciaux, ont été cémentées et trempées. — Ce n'étaient donc plus, à proprement parler, des pièces de fer.

M. Faure croit que le jour où la fabrication de l'acier sera régulière et le métal bien connu, on obtiendra des résultats beaucoup plus satisfaisants, et dans son opinion il serait prématuré de conclure.

M. Faure donne lecture de deux lettres écrites par M. Verrine à M. Borsig pour lui demander les renseignements suivants :

1° Quelle est l'espèce d'acier fondu qu'il emploie dans ses machines;
2° Quels sont les organes de la machine qu'il fabrique en acier;
3° La bielle est-elle trempée entièrement, ou seulement partiellement;
4° Quel avantage trouve-t-il à ne terminer les pièces qu'après la trempe;
5° Y a-t-il des mécomptes par suite de l'inégalité de la qualité des aciers;
6° Un bon fer n'est-il pas préférable à un acier dont la qualité est incertaine.

M. Borsig a répondu :

Que l'acier fondu qu'il emploie dans les organes de ses machines est de la qualité des *aciers à ressorts.*

Indépendamment des bielles d'accouplement et des bielles motrices, on fait encore en acier fondu les manivelles et les tiges de piston; on fait également sur commande spéciale les *glissières* et les *coulisses* pour le tiroir.

Les pièces d'acier achevées à la forge sont chauffées au rouge et refroidies dans toute leur étendue, par conséquent complétement trempées; ces pièces sont ensuite réchauffées dans un four, et lorsqu'elles commencent à prendre, dans une chambre obscure, la couleur rouge cerise foncée, on les refroidit de nouveau et elles atteignent enfin le degré de dureté convenable pour le finissage de la pièce.

A la première trempe, une pièce de mauvaise qualité montre des fissures qui permettent de la rebuter. C'est une raison qui doit faire préférer le *finissage après la trempe;* de plus, on n'a à redouter aucune des déformations qui se produiraient souvent si l'on trempait la pièce après son achèvement.

Quant à la confiance à avoir dans les matières, on est aussi bien forcé de s'en rapporter au producteur en ce qui concerne le fer qu'en ce qui concerne l'acier.

Le fabricant d'acier fondu livre sa matière qui est trempée comme il vient d'être indiqué plus haut; et lorsque, par hasard, on trouve à la trempe une pièce à rebuter, cela regarde le producteur, quise trouve ainsi forcé de bien choisir les produits qu'il livre.

Les pièces d'acier fondu sont ainsi soumises à une épreuve par la trempe, épreuve qui augmente la sécurité de leur emploi comparativement à celui du fer forgé.

M. Wurgler a été reçu membre de la Société.

Séance du 6 Février 1862.

Présidence de M. le Général Morin.

M. le Président annonce à la Société qu'à l'occasion de l'Exposition universelle de Londres deux de ses membres, M. Gouin-Ernest et Mathieu (Ferdinand), ont été promus officiers de la Légion d'honneur, et MM. Baudouin, Decaux, Giffard, Laboulaye et Laurent Charles ont été nommés chevaliers du même ordre.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la navigation par la vapeur sur les canaux.

La parole est donnée à M. Faure, pour reprendre l'analyse déjà faite par lui dans

une autre séance de divers documents présentés à la Société sur cette question. M. Faure s'exprime ainsi :

« Afin de bien préciser l'intérêt qui s'attache à l'application de la vapeur à la navigation sur les canaux, je rappelle d'abord qu'en se limitant au seul transport de la houille entre la Belgique, le nord de la France et Paris, et en particulier entre Condé et Conflans, on se trouve en présence d'un mouvement dont l'importance s'est accrue chaque année dans une proportion presque régulière et s'élève actuellement à 3,000,000 de tonnes par année.

« Il y a quelques années à peine, la batellerie du Nord et les péniches flamandes avaient le monopole de ces transports; mais l'insuffisance et l'irrégularité de l'organisation de ce service sont devenues plus manifestes de jour en jour; en présence de l'accroissement rapide du trafic, la compagnie du chemin de fer du Nord a su absorber une très-importante partie de ces transports. La Société sait les habiletés et les hardiesses d'organisation, les perfectionnements dans le matériel et dans le service d'exploitation qui, sous la très-habile et très-énergique direction de M. Petiet, ont permis à cette compagnie, en combinant des réductions de tarif considérables avec une grande puissance de moyens, d'arriver à ce très-remarquable succès qui a fait et devait faire époque dans la grande question du transport des marchandises lourdes.

« En présence de cette concurrence formidable trop peu prévue, partant trop tardivement redoutée, la batellerie du Nord a cherché à entrer dans la voie des améliorations; le halage par chevaux a été l'objet vers lequel se sont dirigés des efforts louables, mais peu heureux. Les vices d'irrégularité, d'insuffisance temporaire, de lenteur, etc., sont devenus plus sensibles sans devenir moindres; si bien que la nécessité de créer des moyens de transport par eau améliorés, plus rapides et plus réguliers, s'est imposée à bien des esprits, même en dehors de l'idée de concurrence entre les chemins de fer et les canaux. La question est loin d'être neuve toutefois, et pour le prouver il suffit de rappeler un seul exemple, celui des *bateaux-grappins* de M. Verpilleux, qui ont fonctionné sur le Rhône, depuis 1844 jusqu'au moment où des causes très-complexes sont venues anéantir presque la navigation commerciale sur ce beau fleuve, jusqu'au jour du moins où cette grande voie naturelle aura conquis ce qui lui manque encore, une issue praticable, un véritable, un facile et pratique accès à la Méditerranée.

« M. Faure rappelle encore les études suivies de navigation à la vapeur sur les canaux jadis faites par MM. Guébhard et Dubied; celles de M. Hervier, au moyen d'un bateau construit dans les chantiers de M. Cavé et dont le propulseur était une turbine à axe vertical qui semblait avoir, sauf examen à faire, de très-grandes analogies avec le système décrit dans un travail récemment transmis à la Société par M. de Brialmont, et réalisé dans les ateliers de Seraing.

« Un autre essai, remarquable, en ceci surtout qu'il était une première et très-rationnelle tentative de l'application de la machine locomobile aux péniches flamandes, doit être rappelé. C'est le système de MM. Meunier et Cie, avec son ingénieux et simple appareil de propulsion, imaginé ou du moins étudié par un de nos collègues M. Hervier. M. Faure a assisté à l'un des essais de ce système sur le bassin de la Villette, et il a pu se convaincre de la possibilité d'obtenir avec lui, sur l'Oise canalisée et sur les canaux du Nord, une vitesse de 3 à 4 kilom. par heure avec des bateaux portant un chargement de 220 tonnes.

« Parmi les mémoires sur la question, adressés à la Société, M. Faure mentionne la note imprimée de M. Beuchot, entrepreneur de transports par eau, mais sans s'y

arrêter, parce que cette note est plutôt une revendication de priorité plus ou moins fondée, qui ne saurait intéresser les études de la Société.

« Un autre membre de la Société, M. Gaget, lui a communiqué un mémoire intéressant, rempli de chiffres statistiques des plus utiles, mais qui, au point de vue du système qu'il propose et décrit, peut être passé sous silence, parce que ce système avait été résumé une première fois devant la Société par M. Faure. C'est le système de M. F. Bouquié.

« Grâce à l'obligeance de son auteur, la Société a devant les yeux, aujourd'hui, le modèle exposé par lui au palais de Kensington, et qui a valu à M. Bouquié une appréciation concise, mais très-favorablement concluante, consignée dans les rapports du jury français à l'Exposition internationale de 1862. Il est donc à peine utile de redire que M. Bouquié s'est posé et a résolu simplement et heureusement le problème assez délicat de l'application de la chaîne de touage aux canaux à écluses. Cette chaîne est en fer de $0^{m},009$ de diamètre ; le bateau qui se hale sur elle porte une locomobile à cylindre horizontal installée sur le pont, ou à cylindre vertical placée à fond de cale, sur la péniche qu'elle doit conduire.

« Une roue à empreintes, ou *hérisson*, mise en jeu par une courroie de commande conduite par la machine motrice, opère le touage du bateau. Le mécanisme de transmission et la roue à empreintes sont installés sur un châssis en charpente, facilement amovible et simplement boulonné sur les plats-bords de la péniche. En plein canal ou en rivière, la roue à empreintes vient se placer en porte-à-faux et en saillie sur le bord de la péniche ; mais, au moyen d'un système d'embrayage, elle peut glisser transversalement, et venir se placer assez près de l'axe longitudinal du bateau, durant le passage des écluses.

« Au moyen de dispositions simples, et notamment de poulies pivotantes montées sur l'un des buscs des portes d'écluse, la chaîne peut traverser l'écluse dans toute sa longueur, sans gêner les manœuvres d'ouverture et de fermeture.

« Les vitesses variables ménagées à la roue à empreintes, par l'organisation des engrenages qui la mettent en mouvement, permettent les ralentissements nécessaires, soit pour franchir les écluses, soit pour opérer certaines manœuvres d'abandon et de reprise de la chaîne toueuse, selon les besoins, et notamment pendant les instants où deux bateaux, l'un montant, l'autre descendant, doivent passer côte à côte durant leur marche en sens inverse.

« Il est permis de dire que toutes les conditions, toutes les nécessités ont été prévues, heureusement et simplement satisfaites par les agencements divers que M. Bouquié a dû leur approprier successivement. Au point de vue de la possibilité pratique, le système de M. Bouquié se présente donc *avec tout le prestige d'une solution relativement simple et vraie*, et il ne restera plus qu'à savoir *s'il peut, s'il doit devenir industriel*, au point de vue économique.

« Son auteur en poursuit l'expérimentation depuis assez longtemps déjà, avec une persévérance qu'on ne saurait trop remarquer, et les résultats de ces expériences prolongées, faites dans des conditions vraiment pratiques, lui ont conquis des suffrages émanés d'hommes dont l'autorité et la compétence en la matière ne sauraient être contestées. Les critiques ne lui ont pas fait défaut, et cela devait être. Les plus développées sont celles que l'on rencontre dans une publication périodique consacrée aux intérêts de la navigation fluviale, aspirant à représenter surtout les intérêts de la batellerie telle qu'elle existe aujourd'hui. C'est dire qu'elles ne peuvent être suffisamment désintéressées, puisque la mise en pratique sérieuse du touage Bouquié devrait

avoir pour premier résultat une perturbation grande dans un service de halage par chevaux, qui, tout imparfait qu'il soit notoirement, représente néanmoins des intérêts respectables.

« Nous avons sous les yeux, dit M. Faure, un travail émané d'une très-haute autorité, d'un des hommes les plus éminents du corps des ponts et chaussées, dans lequel la question commmerciale qui naît de l'application du touage Bouquié à la navigation entre la Belgique et la France paraît étudiée très-mûrement. De ce travail combiné avec diverses hypothèses chiffrées, communiquées à la Société par M. Bouquié, il résulterait que le système dont il s'agit, appliqué seulement à un transport de 200,000 tonnes par an, pourrait transporter ces 200,000 tonnes à des prix de 0f,008 à 0f,017 par tonne et par kilomètre, *bénéfice compris*, à une vitesse de 3 kilomètres par heure.

« Pendant que les péniches halées par chevaux arrivent avec peine à effectuer deux ou trois voyages par an, au plus, les péniches touées par le système Bouquié, avec leur locomobile spéciale, pourraient, semble-t-il, faire au moins huit à dix voyages dans le même temps. Sans doute des questions graves et complexes de matériel à créer, de transport des engins d'une péniche sur une autre, de personnel nouveau à créer, à former, etc., doivent être soulevées pour la mise en œuvre du mode de touage proposé par M. Bouquié; les questions du prix de revient, des réductions possibles de ce prix au fur et à mesure que s'accroîtrait l'importance des transports qui lui seraient confiés, restent à étudier et ne peuvent être sûrement résolues que par la mise en pratique elle-même; mais, néanmoins, si l'on veut être juste sans cesser d'être réservé, il faut reconnaître et dire, en présence des documents dont nous devons la communication à M. Bouquié, que le système étudié par lui avec une constance et une ingéniosité dignes d'éloges, autorise des espérances non contestables, touchant une bonne solution d'un *desideratum* considérable, c'est-à-dire l'application de la vapeur à la navigation des fleuves et canaux *dans des conditions de vitesse suffisante, et d'effet utile supérieur à celui qui peut être obtenu par les divers propulseurs essayés jusqu'à ce jour.* » Telle est du moins la pensée exprimée par M. Faure.

« J'arrive, dit M. Faure, à la dernière partie de la tâche qui m'a été imposée par notre Président pour 1862, à l'analyse du mémoire de *M. Beau de Rochas*. Je serai bref, parce que je craindrais de vous fatiguer en redisant aujourd'hui, tout ce que j'ai dit dans une précédente séance au sujet de ce travail très-remarquable, qui permet d'apprécier l'esprit élevé et spéculatif, le talent d'analyse algébrique de son auteur. »

Cette Étude qui porte le titre suivant : *De la traction des bateaux fondée sur le principe de l'adhérence* (E. Lacroix, quai Malaquais, 1862), vous a été présentée au nom de son auteur, par M. Lefèvre, membre de la Société.

Dans une courte mais substantielle introduction, M. Beau de Rochas, partant d'un point de vue qu'il appelle le *principe de la moindre action*, énumère rapidement les moyens employés ou proposés pour opérer la traction des bateaux, *dans de bonnes conditions d'utilisation de la force motrice consommée*. Sous ce rapport le halage par points fixes, le touage sur chaîne noyée, auraient une incontestable supériorité relativement aux nombreux propulseurs connus, qui tous ne donnent en travail utile qu'une trop faible partie du travail dépensé par le moteur. Mais le capital absorbé par l'établissement de la chaîne, conduit à des conditions industrielles, à des nécessités de trafic sur de grandes masses, qui ne peuvent pas toujours être satisfaites. Après avoir posé, dans les termes suivants, le problème qu'il veut discuter et résoudre, « Se

« procurer une réaction continue en prenant appui sur le sol par l'adhérence de « *chaînes sans fin* d'un poids suffisant, » M. Beau de Rochas se hâte d'indiquer divers brevets fondés sur ce principe et pris entre 1839 et 1860. Il fait d'ailleurs sur chacun d'eux des critiques fondées, et arrive ainsi à dégager les conditions, les *desiderata* que ne sauraient satisfaire ces solutions ébauchées, ces propositions non suivies d'effet, que la pratique n'est pas venue appuyer.

Dans un premier chapitre, M. Beau de Rochas donne des chiffres et des détails pleins d'intérêt sur le halage par chevaux et l'état actuel de la batellerie du Nord. Il arrive à décomposer, ainsi qu'il suit, le transport par le halage par chevaux :

Frais de halage.....	34 p. 100
Déboursés divers.....	18
Droits.....	48

Sans négliger de mettre en relief ce dernier chiffre pour en tirer un argument produit bien souvent déjà ou mieux une conséquence destinée à se produire, plus ou moins radicalement, « la suppression de tout droit dans un temps donné » en matière de transports par eau, l'auteur fait voir que les frais de halage et déboursés divers ne peuvent pas subir de réduction bien notable; puis il signale, en l'expliquant, l'insuccès des louables efforts tentés par l'administration pour établir des services de relais réguliers.

Il consacre ensuite au système Meunier et Cie une page dans laquelle il donne des appréciations qui m'ont semblé très-judicieuses, et qui expliquent le regrettable insuccès de MM. Meunier et Cie, auxquels a fait défaut ce qui seul pouvait faire vivre leur système, selon M. Beau de Rochas, à savoir : un service de marchandises générales régulièrement alimenté.

Dans quelques pages remplies par une *critique* du touage Bouquié, M. Beau de Rochas, avec une loyauté et un esprit de justice qu'il convient de signaler, rend hommage à l'agencement de tous les détails d'application de ce système, à sa simplicité, « à l'habileté rare avec laquelle il a été adapté à toutes les conditions du mouve« ment sur les canaux. Si l'application du touage en canal, dit-il, doit devenir une « réalité. c'est ainsi qu'elle se pratiquera et pas autrement. Il se demande ensuite si « cette solution possible est en même temps praticable; si, en même temps qu'aux « conditions techniques, elle satisfait aux questions économiques. »

Je dois avouer, dit M. Faure, que l'étude critique et chiffrée faite à ce dernier point de vue par l'auteur du mémoire que j'analyse, toute loyale d'ailleurs, ne m'a pas conduit à la conclusion qu'il énonce. Elle est beaucoup trop radicale, selon moi, j'allais dire cassante, et sans qu'il soit besoin d'admettre avec M. Beau de Rochas, l'hypothèse de 1,800,000 tonnes transportées par le système Bouquié, je me réfère plus modestement aux 200,000 tonnes qui ont servi de base aux calculs du rapporteur de la commission du ministère des travaux publics. Si les données de ce dernier travail sont exactes et praticables, le touage sur canaux peut vivre; et *s'il peut vivre, il faut le créer, le développer*, selon moi, parce que je suis de ceux qui, en dehors de la concurrence des prix, pensent que les chemins d'eau doivent se développer parallèlement aux chemins de fer, là surtout où il y a du tonnage pour tous, même quand le prix du fret ne pourrait que rester assez peu au-dessous des tarifs les plus réduits des voies ferrées.

L'Étude de M. Beau de Rochas s'étend alors sur le halage par chaîne sans fin et adhérence d'une partie de cette chaîne sur le fond du canal, après avoir fait remar-

quer d'abord que, « comme dans le touage sur chaîne noyée, la réaction qui doit « faire équilibre à l'effort de traction est alors produite par une force qui ne parcourt « qu'un chemin nul et par conséquent aussi sans travail perdu, cette force n'est autre « que l'adhérence produite par le poids d'une certaine longueur de chaîne actuelle- « ment en contact avec le sol au fond de l'eau, et comme il en retombe à l'avant une « portion toujours égale à celle qui se relève à l'arrière, le bateau tend à avancer « précisément de la quantité dont la chaîne sans fin se développe sur elle-même. » Il s'attache à faire ressortir les avantages qu'il espère de ce système, par rapport au touage par chaîne fixe, en le supposant appliqué à un bateau toueur et porteur, remorquant un ou plusieurs bateaux.

Pour appliquer le touage par adhérence aux canaux du Nord, l'auteur *admet* qu'une machine motrice de 12 chevaux, installée sur la péniche toueuse et porteuse pourra donner la remorque à deux péniches chargées, marchant à la vitesse du halage par chevaux.

Il s'efforce d'établir un prix de revient de 300 fr. par péniche et par voyage, qui, *s'il pouvait être réalisé*, offrirait une grande réduction, relativement à celui de M. Bouquié, appliqué au voyage entre Mons et Paris. Comparé au prix actuel du halage par chevaux il permettrait de beaux bénéfices sans doute ! mais entre un aperçu qui a négligé le travail certainement très-considérable que devraient absorber les résistances passives *dans ce système de chaîne sans fin, très-lourde, mise en mouvement par des hérissons* et la réalité expérimentale, peut-être y aurait-il un grand écart.

Notre conclusion, à nous, doit être celle-ci : Le touage par adhérence sur les canaux est une idée rationnelle; il faut qu'elle soit expérimentée industriellement; mais, sur la question du prix de revient, nul ne peut se prononcer à cette heure.

M. Beau de Rochas a consacré son *deuxième chapitre* au halage à vapeur sur rivières canalisées; après avoir donné des chiffres très-intéressants sur l'énorme trafic de la basse Seine, il cherche à établir un prix de revient du halage à vapeur par adhérence entre le Havre et Paris, et ses chiffres sont trop séduisants pour que nous puissions y croire, sans expériences préalables, alors surtout qu'ils sont obtenus en négligeant, cette fois encore, de faire aux résistances passives la part qui leur doit revenir, selon nous, dans ce mode de halage.

Ainsi qu'il arrive à tous les hommes qui creusent avec ardeur l'étude d'une idée, d'un système, M. Beau de Rochas est entraîné au delà des premières limites qu'il voulait poursuivre, et arrive à croire qu'on peut résoudre avec ce système tous les problèmes auxquels il se rapporte. C'est ainsi qu'il est conduit, dans un troisième chapitre, à examiner la question du *halage par adhérence produit par la seule action du courant*, et permettant de *franchir les rapides*, voire *les cataractes* des grands fleuves. On voit, et il a soin de le faire remarquer, qu'il va emprunter *une idée déjà ancienne, celle de l'aqua-moteur*, qui serait appliqué à la conduite des arbres conducteurs de la chaîne sans fin, destinée à produire l'adhérence.

Installer sur le bateau-toueur à chaîne adhérente des *roues pendantes* que le courant lui-même fait tourner, en nombre suffisant et avec des surfaces d'aubes suffisantes, combinées et calculées en raison de la force motrice nécessaire à la marche de la chaîne toueuse par adhérence, c'est une idée juste, sans doute ; *sans limites même* quand on reste dans le domaine de l'abstraction ! Aussi, en lisant le travail de M. Beau de Rochas, on arrive facilement à rejeter une certaine crainte qui vous avait saisi d'abord et qui est du genre de celles qu'on éprouve vis-à-vis d'un cercle vicieux ou de l'un

de ces rêves de mouvement perpétuel qui se produisent trop souvent encore. La logique est sauvée, mais les craintes subsistent touchant les limites dans lesquelles le système peut être appliqué pratiquement.

Quoi qu'il en soit, l'auteur esquisse très-sommairement l'idée de l'application de l'aqua-moteur à la *navigation* EN REMONTE sur le Rhône, en prenant pour moteurs des roues pendantes disposées par couples successifs. Il y a trop de vague dans cette grosse question, pour qu'il soit permis, selon moi, de considérer comme acceptable le prix de revient indiqué par lui. Mais les pages dans lesquelles M. Beau de Rochas indique les conditions de trafic du Rhône, la nécessité de créer à la navigation, sur ce beau fleuve, un accès à la mer remplissant les conditions sans lesquelles cette navigation ne peut s'établir et prospérer, en concurrence avec les voies ferrées, sont pleines d'intérêt et d'utiles renseignements, remarquables d'ailleurs par les considérations élevées qu'elles effleurent.

L'application à la Seine, à la Gironde, aux fleuves à marée, du système de touage par *point fixe*, MOBILE ou se déplaçant avec le bateau, devait préoccuper et a préoccupé M. Beau de Rochas; mais, sans rien vouloir ôter aux considérations ingénieuses par lesquelles il s'efforce de démontrer la possibilité de cette application, et notamment à la navigation en descente et en remonte sur un fleuve à marée, nous croyons qu'il convient de ne pas prendre trop au sérieux les prix de revient qu'il indique à ce sujet.

Le Nil et ses cataractes ne pouvaient échapper à l'imagination, aux vues hardies de cet auteur, et l'on comprend qu'il ait voulu entrevoir dans l'aqua-moteur combiné avec la chaîne sans fin et son adhérence le moyen de résoudre ce problème si ancien mais si peu résolu encore, de la navigation du Nil, remonté jusqu'à ses sources. Pour se donner un élément de possibilité de solution, il a fait une hypothèse ingénieuse sans doute, mais dont on ne peut affirmer l'exactitude. Il admet, en la raisonnant, presque en la faisant paraître très-probable, une hypothèse qui consiste en ceci, que les cataractes du Nil ne seraient, en réalité, que des rapides, c'est-à-dire des *plans inclinés;* les considérations, les données par lesquelles il tente de justifier cette supposition, qui est un des besoins de sa solution, sont très-certainement intéressantes; elles sont suivies, d'ailleurs, d'un aperçu qui laisse entrevoir toute la grandeur de la question commerciale relative à la navigation du Nil.

« Quelques mots encore, dit M. Faure, sur la *seconde partie* du travail de M. Beau de Rochas, celle qui traite des conditions d'établissement du halage par l'adhérence. »

Le premier paragraphe de cette seconde partie du travail de l'auteur, sous le titre, Principe de l'adhérence et cinématique funiculaire, applique ingénieusement l'analyse algébrique à la *recherche*, par voie d'hypothèses successives, des figures d'équilibre de la chaîne dans les diverses circonstances du mouvement. Il fait comprendre ainsi qu'en faisant varier l'écartement des poulies extrêmes qui la supportent et la hauteur des points de suspension, on pourrait, après avoir réglé *à priori* la longueur *maxima* de la chaîne par rapport à la plus grande profondeur qu'elle doit rencontrer dans le chenal que parcourt le bateau, arriver à obtenir toujours la somme d'adhérence voulue d'une part, pendant que, d'autre part, les portions de chaîne temporairement inutiles au point de vue de l'adhérence s'aménageraient en guirlandes de longueur variable entre des poulies extrêmes et intermédiaires.

Un second paragraphe étudie l'établissement de la chaîne et le passage des courbes, en appliquant cette étude aux péniches du Nord, à ce point de vue particulier de rendre tout le système sensible au gouvernail, « l'action de celui-ci devant avoir pour

« effet de faire tourner le système autour d'une verticale passant par le centre de « gravité du bateau. » Les résultats de son analyse conduisent l'auteur à conclure que pour les rayons les plus réduits des courbes existantes sur les canaux du Nord, une péniche toueuse à chaîne sans fin et à deux gouvernails pourra en remorquer au moins une autre.

M. Beau de Rochas arrive aussi à déterminer le poids de la chaîne par mètre courant, selon les cas et la longueur de la partie de chaîne qui, posée sur le sol, doit fournir l'adhérence voulue. Sans vouloir dissimuler combien, à nos yeux, l'expérience directe devrait modifier les résultats de cette analyse, eu égard surtout aux variations de la composante de frottement selon la nature du sol sur lequel doit agir la portion de chaîne qui détermine l'adhérence, combien donc il y a d'éléments incertains dans les relations combinées par l'auteur dans son analyse, je me bornerai à faire remarquer qu'il arrive dans une de ses hypothèses, la plus défavorable à la vérité, au poids énorme de 600 kil. par mètre courant.

Pour appliquer le système par adhérence au halage par l'action du courant, M. Beau de Rochas emprunte aux leçons de Navier « une exposition sommaire de la théorie « du halage par l'action du courant; » mais pour la rendre applicable à ses idées, ou mieux peut-être à ses aspirations touchant le passage des rapides, après avoir remarqué que Navier n'a pas tenu compte de la composante du poids du bateau dans le sens de la pente du fleuve, il introduit cette donnée dans les équations qu'il veut combiner.

Enfin il applique au Rhône les résultats de cette analyse, et il se croit autorisé à conclure qu'un aqua-moteur établi dans les conditions admises par ses équations remorquerait un certain nombre de bateaux de 600 tonnes à la vitesse même du courant, l'adhérence devant atteindre dans certains passages jusqu'à 100 tonnes, et la limite supérieure de la longueur d'appui atteignant cent mètres.

Je ne veux insister ni sur ces conclusions, ni sur celles que M. Beau de Rochas indique pour le Nil, dit M. Faure, parce que si j'ai voulu accomplir un acte d'équité en rendant de grand cœur un hommage sincère aux idées hardies, aux recherches si intéressantes de cet auteur, je craindrais de le suivre sur le champ d'aspirations trop spéculatives, dans une matière où l'expérience n'a rien appris encore. Je crois devoir me borner à dire qu'il faut désirer vivement que le système de halage par adhérence, étudié par M. Beau de Rochas, soit soumis à une expérimentation sérieuse, parce que les espérances qu'il fait naître sont rationnelles.

J'ai fini ma tâche, dit M. Faure, heureux si j'ai pu vous inspirer le désir d'étudier les choses que je n'ai pu qu'effleurer, et si je puis faire passer dans vos esprits la conviction développée et fortifiée en moi, touchant l'intérêt, l'importance d'actualité et l'avenir considérable des questions qui se rapportent à l'application de la vapeur *au halage* sur les canaux.

M. le Président invite M. Beau de Rochas à donner quelques éclaircissements sur la théorie de son système d'adhérence.

M. Beau de Rochas parle d'abord de l'application aux canaux; il dit que dans ce cas, la péniche motrice sera munie dans sa partie centrale de trois poulies verticales convenablement écartées, sur lesquelles passera la chaîne sans fin qui doit prendre son point d'appui, au moyen de l'adhérence, sur le fond du canal.

Une machine locomobile communiquera à la poulie centrale, dans le sens de l'avancement du bateau, un mouvement de rotation qui aura pour résultat d'entraîner

la chaîne dans le même sens et de tendre toute la portion de cette chaîne correspondant à l'arrière, depuis la poulie centrale jusqu'à la partie en contact avec le fond.

Si la tension est inférieure à l'adhérence, la chaîne ne glissera pas; si en même temps elle est supérieure à la résistance de l'eau sur le bateau, celui-ci avancera.

La partie d'avant de la chaîne ne subira d'autre tension que celle résultant de son propre poids, et suivant sa longueur elle développera, entre la poulie centrale et celle d'avant, une chaînette dont la flèche dépendra tout à la fois de la longueur de la chaîne et de la profondeur du canal, mais on conçoit que cette longueur puisse être calculée de façon à tenir compte, dans des limites données, des variations de profondeur du canal, tout en conservant une adhérence suffisante pour faire avancer le bateau.

M. Petiet craint de voir les chaînes glisser sur les poulies.

M. Beau de Rochas répond que les poulies sont à empreintes et que, d'ailleurs, elles supportent les deux tiers du poids de la chaîne, qui est très-lourde.

M. le Président fait observer qu'alors la chaîne donnera beaucoup de frottements sur les poulies et sur les tourillons de leurs axes, qu'il faut aussi tenir compte de la roideur de cette chaîne qui le plus souvent sera boueuse. — Il dit, en outre, que dans les canaux on rencontre souvent des fonds vaseux dans lesquels il lui semble douteux qu'on obtienne une adhérence suffisante.

Il demande enfin quelle vitesse on espère atteindre avec ce système.

M. Beau de Rochas répond qu'il ne pense pas que ces résistances soient considérables. La roideur de la chaîne n'aura d'influence que sur la poulie d'arrière, car là seulement il y a tension. — En somme il n'estime pas à plus de 10 p. 100 l'ensemble des résistances nuisibles, et il croit qu'une machine de 4 chevaux suffirait pour communiquer à une péniche ordinaire une vitesse de trois kilomètres et demie, soit environ un mètre par seconde.

M. Faure dit que dans les expériences faites sur le système de M. Bouquié on a, en effet, marché avec cette vitesse avec une machine locomobile de 4 chevaux.

M. Dubied dit que l'effort nécessaire à la vitesse de 1 mètre par seconde pour une péniche ordinaire est d'environ 300 kilogrammes; mais il fait remarquer que dans quelques canaux il y a du courant. Si on suppose à l'eau une vitesse de 1 mètre par seconde, l'effort à exercer à la remonte serait de 1200 kilogrammes, si on voulait conserver au bateau une vitesse de 1 mètre par seconde.

Il demande si l'adhérence permettra de développer un effort de cette importance.

M. Beau de Rochas répond qu'il résulte d'expériences de M. Clément Desormes, que le frottement dans le fond des canaux est d'environ 0,75 du poids; il suffirait donc, pour obtenir l'effort de 300 kilogr., que le poids de la portion de chaîne frottante fût de 450 kilogr.

Dans son mémoire, M. Beau de Rochas admet pour un convoi de trois péniches, dont une seule motrice, une chaîne d'environ 12 tonnes, dont le tiers seulement porte sur le fond, le reste s'appuyant sur les poulies. Si le coefficient indiqué ci-desus est exact, l'adhérence fournira un effort de trois mille kilogrammes, qui est évidemment très-suffisant.

M. Beau de Rochas donne ensuite les résultats des calculs qu'il a faits pour l'application sur le Rhône de son système de roues pendantes.

Il a trouvé qu'un bateau aqua-moteur de cent cinquante mètres environ de longueur, muni de vingt paires de roues pendantes de cinq mètres de largeur chacune, pourrait, au moyen d'une chaîne pesant environ 350 tonnes, remorquer un poids de dix à douze mille tonnes.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Beau de Rochas si quelques expériences ont été faites sur son système.

M. BEAU DE ROCHAS répond que la présentation de son mémoire à la Société avait précisément pour objet d'attirer la discussion sur ses idées, et d'en provoquer l'expérimentation.

M. LE PRÉSIDENT pense qu'en effet il serait désirable que des expériences préalables sur les conditions qui font la base du système fussent exécutées avant de passer à des essais en grand.

Il donne ensuite la parole à M. Hervier pour exposer son système de propulseur.

M. HERVIER dit que chaque bateau était pourvu de deux propulseurs semblables, placés latéralement, mais dans les formes arrières du bateau, de manière à ne pas faire saillie sur ses flancs, et reliés ensemble par un arbre horizontal que faisait tourner une machine *locomobile de 4 chevaux*.

Chacune des extrémités de cet arbre actionnait un système de trois manivelles égales, dont les boutons étaient reliés par trois bielles, de façon à constituer une figure triangulaire, par conséquent invariable de forme, et dont tous les points décrivaient des cercles de même rayon.

Une tige était fixée à deux des côtés du triangle, dans une position verticale, elle portait à son extrémité inférieure une palette ou aube. — Cette tige et cette aube suivaient exactement le mouvement du système triangulaire, chacun de leurs points décrivait, par conséquent, des cercles de rayons égaux, et elles restaient constamment verticales. Pendant le parcours du demi-cercle inférieur, l'aube prenait appui sur l'eau à la façon d'une rame, et faisait ainsi avancer le bateau. On réglait sa position sur la tige de façon qu'elle était entièrement hors de l'eau pendant le parcours du demi-cercle supérieur, et on évitait ainsi la réaction de l'eau.

Par ce moyen, qui a été sérieusement appliqué, on a pu faire marcher un bateau ordinaire à la vitesse de 4 kilom. à l'heure. — L'entreprise ne s'est arrêtée que par le manque de capitaux.

M. FAURE fait remarquer que les péniches ordinaires font difficilement trois voyages par an, de Mons à Paris, qu'à la vitesse de 4 kilom. on pourrait faire de quinze à vingt voyages, et qu'ainsi les frais généraux se trouveraient répartis sur un tonnage important; ce qui réduirait considérablement le prix de revient.

M. HERVIER dit qu'il n'a pas été possible de faire plus de dix voyages par an, et qu'on ne saurait espérer en faire davantage à cause des chômages.

M. PETIET demande si les systèmes avec roues ont donné sur les canaux des résultats satisfaisants, et s'ils sont employés sérieusement. Il sait que sur la ligne des canaux des Ardennes, le service est fait régulièrement par des bateaux avec propulseur à hélice.

M. HERVIER dit, qu'en effet, il a vu fonctionner ces bateaux, qu'ils sont de très-petites dimensions, portent seulement 65 tonnes, et effectuent leurs transports à trois centimes par tonne et par kilomètre. Par son système, il était arrivé à 0^{f},045, non compris les frais généraux.

M. FAURE ajoute que dans le rapport qu'il a déjà cité, M. Feburier estime qu'on pourrait transporter une tonne de houille, entre Mons et Paris, pour 5^{f},95 par le système de M. Bouquié, tandis que, par le chemin de fer du Nord, ce transport coûte 9^{f},90.

M. Petiet fait remarquer que le prix demandé au public est évidemment supérieur au prix de revient. Ce dernier est difficile à établir exactement à cause des éléments nombreux qu'on pourrait y faire entrer; mais, en tenant compte des intérêts et de l'entretien du matériel spécial, des frais de conduite et de traction des trains, ainsi que de l'entretien supplémentaire de la voie, il ne s'élève pas à plus de 5 fr. par tonne. Le prix de revient, calculé à 3f,95 par tonne, avec touage, n'est donc pas très-avantageux, surtout si l'on considère que ce n'est qu'une prévision.

La batellerie ordinaire avec traction par chevaux donne déjà au commerce des frets très-bas, puisqu'ils ont été, en moyenne, de Mons à Paris, de 7 fr. par tonne pour l'année 1862. A ce taux, il est vrai, le marinier n'a qu'une existence précaire.

Jusqu'ici, du reste, la batellerie à vapeur sur les canaux n'a pu être organisée sérieusement.

M. Petiet cite un fait qui a eu lieu il y a quelques années, le chemin de fer du Nord transportait à Paris la houille qui était consommée sur les bateaux à vapeur en concurrence avec lui. Cependant les canaux du Nord présentent une navigation excellente; le tirant d'eau est partout de 1m,80 au minimum; les chômages y sont rares et la circulation annuelle de la houille est énorme.

Si donc les moteurs à vapeur ne s'y généralisent pas, on peut supposer que cela tient à ce qu'ils n'offrent pas d'économie. On doit reconnaître, en effet, que le travail annuel, en tonnes transportées à 1 hilom., sera toujours très-faible sur les canaux, à cause de la lenteur de la marche et du temps perdu pour le passage des écluses. Les frais généraux, toujours élevés, des moteurs à vapeur ne se répartissant alors que sur un faible travail annuel, donnent un prix de revient plus grand que par les moteurs animés.

Les dépenses de traction des locomotives sont, il est vrai, bien autrement importantes que celles des machines à vapeur employées sur les canaux; mais, comme elles font par an un très-grand parcours, le prix de revient de la tonne à 1 kilom. peut être plus faible que sur les canaux.

M. Dubied ajoute que les chemins de fer ont l'avantage de fonctionner toujours, les canaux, au contraire, ont des chômages forcés, soit pour leur entretien, soit à cause des gelées. En outre, ils sont souvent reliés à des rivières dont les conditions de navigation sont encore plus irrégulières que celles des canaux.

Un membre fait observer que les canaux du Nord ne sont pas dans ce cas, et que c'est par eux que la discussion est engagée.

M. Bouquié croit que l'emploi de propulseurs diminuerait les frais de traction, qu'en outre il augmenterait la vitesse et diminuerait ainsi les frais généraux.

M. Dubied n'est pas convaincu qu'on diminuerait les frais de traction en augmentant la vitesse, parce que la résistance de l'eau sur les bateaux varie comme le carré de la vitesse.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur le mémoire de M. Nozo, relatif aux tentatives de production et d'application des aciers fondus, faites au chemin de fer du Nord.

Cette discussion est renvoyée à la prochaine séance.

M. le Président rappelle qu'une souscription en faveur des ouvriers sans travail

dans l'industrie cotonnière est ouverte au siége de la Société; il invite les membres qui n'ont pas encore versé, à vouloir bien adresser leur souscription le plus promptement possible.

MM. Bernard, Baillet, de Fonbonne, Rouyer et Rubin, ont été reçus membres de la Société.

Séance du 20 Février 1863.

Présidence de M. *le Général* Morin.

M. Beau de Rochas ajoute quelques explications à celles qu'il avait données à la dernière séance, au sujet de la navigation sur les canaux.

Il a étudié le système de M. Bouquié, et il en a apprécié tout le mérite; mais ce qu'il discute, c'est l'application du touage aux canaux.

Selon lui, le touage ne peut donner une économie dans la dépense de traction, que si la consommation de charbon est la partie prépondérante de la dépense.

Sur la Seine, il y avait des remorqueurs de 80 à 100 chevaux, et on a obtenu une certaine économie en faisant des toueurs de 50 chevaux.

Mais si on voulait employer des machines moins fortes, par conséquent plus nombreuses, l'économie de charbon disparaîtrait à cause de la dépense du personnel.

La même chose arriverait sur les canaux, en employant de petites machines de 4 chevaux, qui exigeraient un personnel nombreux.

M. Beau de Rochas, en réponse au reproche qui lui a été fait d'avoir fait ressortir des prix de traction qui ne sont pas établis convenablement, croit devoir faire observer qu'il a emprunté aux notes de M. Bouquié les prix de revient qu'il a indiqués; mais que, comme M. Bouquié avait omis différentes dépenses, telles que frais généraux, bénéfices, etc., il a dû, pour établir une comparaison entre le remorquage par chevaux et le système Bouquié, tenir compte de ces différentes causes de dépense, et c'est ainsi qu'il est arrivé à démontrer que le remorquage par chevaux coûtant 0^{f},0025 par tonne et par kilomètre, la traction par le système Bouquié coûte 0^{f},007; en admettant le trafic énorme de 1,800,000 tonnes et *à fortiori* à raison de 200,000 tonnes seulement.

C'est donc avec raison qu'il a cru pouvoir conclure qu'il n'y avait pas de concurrence possible entre les deux modes de traction.

M. Beau de Rochas, d'ailleurs, fait observer qu'avant d'avancer que les chiffres sont erronés, il conviendrait de dire où sont les erreurs.

M. Faure fait remarquer que les prix de revient, admis par M. Beau de Rochas, dans la partie de son mémoire qui fait la critique du système de M. Bouquié, ont été empruntés à un premier travail rédigé par ce dernier et assez ancien déjà. M. Faure, dans les appréciations soumises à la Société, a cru devoir, au contraire, se référer exclusivement à l'étude des prix de revient, développée dans le rapport de la commission ministérielle.

Quant aux prix de revient et aux calculs financiers appliqués par M. Beau de Rochas dans son mémoire, au système de touage par adhérence d'une chaîne sans fin

installée sur le bateau porteur et remorqueur, M. Faure persiste, à les tenir pour trop hypothétiques, et il redoute des mécomptes considérables au jour de la mise en pratique du système étudié par M. Beau de Rochas. Il base cette opinion sur ce que ce dernier serait très-loin d'avoir fait une part suffisante à ces résistances passives, dues à une chaîne sans fin, commandée par des roues à empreintes, alors surtout que cette chaîne devra, dans certains cas extrêmes, il est vrai, peser, au dire de M. Beau de Rochas, 600 kil. par mètre courant, et développer son adhérence sur une longueur de 100 mètres.

M. Faure ne peut se résigner à avoir confiance en des prix de revient sommaires, dont les éléments lui ont paru être des évaluations en bloc, qui mettent en évidence des bénéfices espérés de 75 p. 100 par exemple. Il se refuse à accepter de semblables résultats dans une affaire industrielle pour laquelle tous les précédents sont très-loin d'autoriser de telles espérances.

M. Beau de Rochas fait remarquer que dans l'aqua-moteur la force motrice ne coûtant rien, il n'y a aucun inconvénient à perdre quelque chose par les frottements; on n'est, en quelque sorte, limité que par la réalisation pratique du système.

M. le général Morin est d'avis qu'il faut faire attention que cette limite sera promptement atteinte, et c'est ce qu'ont trouvé tous les inventeurs de systèmes analogues, dont les modèles sont déposés au Conservatoire.

M. Faure ajoute que M. Beau de Rochas, en indiquant la disposition d'ensemble d'un appareil aqua-moteur appliqué à la navigation en remonte sur le Rhône, a admis qu'on pouvait disposer les couples de *roues pendantes* ou de roues motrices, à la suite les uns des autres, chacune de ces roues étant à peu près tangente à celle qui la précède et à celle qui la suit.

En indiquant cette disposition, M. Beau de Rochas admet que l'effet utile de chacune de ces roues sera le même; c'est dire qu'il croit pouvoir négliger complétement les remous, les réactions mutuelles des masses liquides mises en mouvement par chacune des roues motrices.

M. Faure ne saurait partager ces espérances, ou, si l'on veut, cette illusion; et il croit que si les roues du premier couple rendent, par exemple, 30 p. 100, en travail utile, l'effet utile des couples suivants devra décroître de plus en plus.

Pour se soustraire aux conséquences de ces remous, il faudrait donc pouvoir allonger les arbres des couples successifs, de manière à soustraire plus ou moins complétement chacune des roues aux remous de celle qui la précède; ou bien encore augmenter dans des proportions très-grandes les surfaces des aubes.

Or, sur des fleuves tels que le Rhône, par exemple, la largeur occupée par les organes aqua-moteurs ne peut pas dépasser une certaine limite d'une part, et d'autre part le nombre des couples de roues motrices installées sur un bateau ne peut pas, selon M. Faure, être à beaucoup près aussi considérable que l'a voulu supposer M. Beau de Rochas.

M. Beau de Rochas sait qu'on a essayé sur la Seine un système analogue à celui qu'il propose et qui a donné des résultats très-satisfaisants, c'est-à-dire qu'on a obtenu sur la dernière palette 75 pour 100 de l'effet utile obtenu sur la palette placée en tête.

M. Faure désire qu'il soit bien entendu que ce chiffre de 75 pour 100 appliqué à la dernière palette d'une roue pendante, ne représente en définitive qu'un effet utile de 0,25 + 0,75, soit de 19 pour 100 environ de l'effet utile due à l'effort transmis à cette palette par le courant moteur. On sait en effet, dit-il, que les divers ouvrages

d'hydraulique dans lesquels on s'est occupé des roues pendantes, n'attribuent pas à ce genre de moteur un effet utile supérieur à 25 ou 30 pour 100 du travail dû à la masse d'eau agissant sur chaque palette, avec la vitesse du courant dans lequel fonctionne la roue pendante.

M. Tresca rappelle qu'à l'Exposition de 1855, M. Léon, de Lyon, avait exposé un modèle de chaîne pendante armée de palettes, et M. Colladon a trouvé par expérience que ce système avait un rendement supérieur à celui qu'on pouvait tirer en ne prenant que l'effort dû à l'action d'une seule palette. Avec 30 palettes, l'effet utile était 5 fois celui d'une seule palette, de sorte qu'on peut conclure de là que toute l'action du courant n'était pas absorbée par la première palette, et qu'il y a moyen d'augmenter la force en augmentant le nombre des palettes.

M. le général Morin a eu l'occasion de faire des expériences sur les roues à aubes des bateaux à vapeur, et il a reconnu que leur effet dépendait à la fois de l'espacement des palettes et de la vitesse des roues. Quand la distance des palettes est égale à la moitié de la quantité dont les palettes sont immergées, et que la vitesse atteint une certaine limite, il se produit des remous tels que le vide semble se faire près de la roue, et qu'on ne tire plus aucun effet utile.

Il semble que des effets de même genre devront se produire quand on voudra multiplier les roues des aqua-moteurs, et qu'on sera bien vite arrêté par les dimensions à donner à ces roues et aux bateaux qui les porteraient.

Dans l'état actuel de la question, on ne peut d'ailleurs se faire une idée exacte de ce qui se produira, et il faudrait des expériences pour démontrer la possibilité de réaliser les vues de M. Beau de Rochas.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion du Mémoire de M. Nozo, relatif aux tentatives de production et d'application des aciers faites au chemin de fer du Nord.

M. Nozo, afin de mieux faire ressortir les chiffres comparatifs qu'il a donnés dans son Mémoire, met sous les yeux de la Société deux tableaux graphiques, représentant :

Le premier, le nombre de kilomètres parcourus par les essieux de différentes provenances et de différentes natures, appliqués sous les mêmes machines faisant identiquement le même service.

Les tableaux rappellent les pressions sous les essieux-moteurs, et l'adhérence totale des machines.

Le second tableau indique les résultats obtenus dans les essais au mouton, d'essieux pour voitures et wagons. Ces résultats sont exprimés en kilogrammètres (produit fait du poids du mouton par la hauteur de chute et par le nombre de chutes) supportés par chaque essieu avant rupture.

M. le Président fait remarquer que ces résultats devraient être complétés par ceux qui pourraient être recueillis par les membres de la Société, attachés aux diverses lignes des chemins de fer, pour que par comparaison on pût tirer un enseignement aussi complet que possible.

M. Forquenot a obtenu, au chemin de fer d'Orléans, des résultats qui ne s'accordent pas complétement avec ceux qui sont donnés par M. Nozo.

A l'appui de cette assertion, il cite des essieux coudés en acier fondu de Krupp, qui sont au nombre de 20 dans une même série de locomotives, dont le nombre total est de 134, et ces 20 essieux ont atteint sans détérioration le parcours le plus élevé des

essieux coudés en fer, rompus dans cette série. Le nombre de ces essieux en fer, rompus depuis la mise en service de ces locomotives, est de 55, dont le parcours minimum est de 64,676 kilomètres, et le parcours maximum de 195,176 kilomètres. Si ces chiffres de parcours d'essieux en fer sont inférieurs à ceux constatés au chemin de fer du Nord, c'est que les machines auxquelles ils sont appliqués sont de construction différente; ce sont des machines à bâti extérieur aux roues, avec accouplement au moyen de manivelles extérieures. Mais les résultats obtenus sur ces locomotives, quant à la durée des essieux coudés, n'en sont pas moins comparables, puisque ces machines ont toutes la même disposition et la même charge sur l'essieu moteur. Il y a lieu de remarquer, d'ailleurs, que les différents modes de fabrication des essieux et leur forme ont une grande influence sur leur durée. Au chemin de fer d'Orléans, les essieux qui cassent le plus rapidement sont ceux qui ont le bras de manivelle très-épais, et en effet, lorsque le bras est trop épais, par rapport au tourillon de la manivelle, il ne fléchit pas, et ce dernier, recevant tous les efforts, se décolle dans la partie qui se raccorde avec le bras de manivelle.

Il faudrait, pour obtenir la plus grande durée possible, que toutes les parties d'un même essieu aient la même flexion.

A côté des résultats des essieux en acier de Krupp, comparés à ceux des essieux en fer, M. Forquenot cite de mauvais résultats donnés par quelques essieux en acier placés aussi sous des machines de la même série, lesquels essieux, fournis par des fabricants qui produisent ordinairement des essieux en fer, ont rompu après de faibles parcours, dont le plus élevé n'est que de 94,676 kilom., et il pense qu'il y a lieu de tirer cette conclusion en ce qui concerne les résultats obtenus au chemin de fer d'Orléans, c'est que les essieux coudés en acier de Krupp, bien fabriqués, donnent jusqu'ici de bons résultats, tandis que les essieux en acier d'autres provenances, mal fabriqués, ont donné des résultats inférieurs aux essieux coudés en fer.

M. LE GÉNÉRAL MORIN pense que la plus grande objection qu'on puisse faire à l'emploi de l'acier, c'est qu'on n'est jamais sûr de la fabrication.

M. STEGER observe que l'indication du poids dont un essieu coudé est chargé n'est pas suffisante pour estimer le travail auquel il faut qu'il résiste. En comparant les résultats obtenus avec des machines mixtes construites en 1849, avec ceux de machines à six roues couplées d'une construction plus récente, on fausse les éléments de comparaison.

Un essieu chargé de 12 ou 13 tonnes, accouplé à un seul essieu ayant une charge égale à la sienne, ne subit pas les mêmes efforts que celui chargé à 11 tonnes accouplé avec *deux* autres essieux portant même charge; ce qui est le cas dans les machines à six roues accouplées du chemin de fer d'Orléans, dont il a parlé à une précédente séance.

M. STEGER croit qu'une des principales causes de la rupture des essieux coudés consiste dans l'augmentation de la pression initiale de la vapeur jointe à l'augmentation de la détente, qui a eu lieu successivement depuis les quinze dernières années.

Avec une faible détente les cylindres étaient plus petits, la pression plus faible et la totalité de l'effort réparti d'une manière plus égale sur une révolution de l'essieu; aujourd'hui avec l'augmentation de la détente on a été conduit à augmenter la pression de la vapeur et le diamètre du cylindre, l'effort maximum a lieu pendant 1/20e à 1/30e d'une demi-révolution de l'essieu et la somme du travail étant supposée la même, cette inégalité de répartition de l'effort ne peut être que préjudiciable à la solidité d'un essieu, d'autant plus que l'effort maximum y est produit au moment du

point mort, ce qui tend à faire alternativement ouvrir et fermer la fourche formée par la double manivelle.

La compression inévitable qui se produit à chaque fin de course du piston avec les fortes détentes, et qui souvent équivaut presque à la pression de la vapeur dans la chaudière, contribue au même résultat, ce qui explique en partie les ruptures des essieux coudés tendant à s'accroître chaque jour. L'augmentation de la puissance que l'on fait transmettre par les essieux coudés n'a pas, aux yeux de M. Steger, une influence proportionnelle aussi fâcheuse que les limites extrêmes auxquelles on pousse la détente de la vapeur.

M. Petiet fait observer que sur les machines du Nord les essieux sont calculés proportionnellement aux charges qu'ils sont appelés à supporter.

M. Nozo ajoute que les résultats donnés sont comparables entre eux, parce qu'on a appliqué successivement sous les mêmes machines, faisant identiquement le même service, des essieux en fer et des essieux en acier de mêmes dimensions.

M. Forquenot dit que le mode de fabrication, le choix des matières et leur mise en œuvre ont une grande influence sur la durée, et qu'il y a lieu de tenir compte de ces différents éléments dans la question : par conséquent, que les résultats comparables dans l'emploi sous une même série de machines peuvent se modifier suivant ces circonstances spéciales.

Il cite, à l'appui de cette assertion, l'exemple de quatorze locomotives d'un même type dont les premiers essieux coudés ont été remplacés après des parcours moyens de 84,136 kilom., dont le minimum est de 19,477 kilom., et le maximum de 186,834 kilom.; tandis que les essieux placés depuis lors donnent des résultats beaucoup plus satisfaisants, puisqu'ils sont encore en service avec des parcours supérieurs à 250,000 kil. et que ceux qui ont le moins parcouru ont atteint au delà de 60,000 kilom.; on peut remarquer, d'ailleurs, qu'il y a entre les essieux coudés en fer, livrés par un même fournisseur, des écarts de durée considérables; que par conséquent, s'il en est ainsi pour le fer, ce raisonnement est bien plus vrai encore pour l'acier, dont le choix est plus difficile et l'emploi comme forgeage plus délicat et plus susceptible de détérioration que le fer, qui résiste infiniment mieux à l'influence de la haute température; à son avis, on devrait conclure, quant à présent, que si l'emploi de l'acier n'a donné que rarement des résultats supérieurs au fer, pour la fabrication des essieux coudés, c'est que la qualité des matières et l'emploi à la forge n'ont pas eu lieu avec tout le soin désirable.

M. Nozo appelle à ce sujet l'attention de la Société sur le tableau représentant les résultats des essais au choc estimés en kilogrammètres (sommes des produits fournis en multipliant le poids du mouton par la hauteur de chute, la même dans tous les essais). La résistance est variable selon les diverses provenances ou natures d'essieux. Dans les essieux en fer de l'usine de l'Heur, l'écart est moindre que dans les autres essieux en fer et moindre surtout que dans les essieux en acier puddlé fondu; mais la résistance moyenne est inférieure.

M. Tresca fait observer que le mode d'estimation de la résistance au choc n'est pas exact, puisqu'en employant un mouton plus léger tombant de la même hauteur on aurait pu donner un nombre de coups de mouton illimité sans produire la rupture; toutefois il reconnaît que, comme les essais ont été faits dans les mêmes conditions pour tous les essieux, les résultats sont comparables, et qu'on peut, des expériences présentées à la Société, tirer cet enseignement, que le fer est susceptible de supporter plus d'actions mécaniques successives que l'acier.

M. Tresca voudrait que la Société s'occupât d'une manière plus générale de la question de savoir si le fer est préférable à l'acier pour la construction des pièces mécaniques, et qu'on déterminât, autant que possible, dans quelles conditions l'un ou l'autre de ces métaux devrait être employé rationnellement.

M. Forquenot ne pense pas qu'on puisse dire *à priori* ce qu'il faut employer du fer ou de l'acier, et de quelle qualité il faut les choisir, cela dépend de la forme à donner aux pièces, de l'habileté des ouvriers qui le mettent en œuvre; d'ailleurs, la différence de résistance peut résulter des conditions d'emploi. On ne peut faire de comparaison entre des aciers provenant de sources différentes et employés dans des conditions qui ne seraient pas identiques.

M. Le général Morin est d'avis qu'on pourra toujours prendre pour type le meilleur acier de chaque espèce.

M. Limet pense qu'il est impossible de comparer d'une manière absolue les résultats des différents chemins de fer, que s'il est important et indispensable d'avoir ces résultats, il est non moins important de connaître parfaitement toutes les circonstances dans lesquelles ils ont été obtenus.

Il pense, d'ailleurs, que le travail de M. Nozo ramenant en entier la discussion sur la production, la mise en œuvre et les applications de l'acier, le sujet est assez vaste, assez difficile à traiter pour devoir, entre temps et en attendant les renseignements des autres chemins de fer, discuter la marche à suivre dans une pareille étude.

L'examen critique du travail de M. Nozo sera un excellent guide, puisque de près ou de loin il a abordé à peu près toutes les questions.

Attendu l'heure avancée, M. Limet se bornera aujourd'hui à poser quelques questions qui lui paraissent devoir servir de bases à la discussion.

1° Ce qu'était l'acier autrefois;
Ce qu'il est actuellement;
Ce qu'il doit et peut être dans l'avenir;

2° Le rôle de l'ingénieur dans l'étude de la production, de la mise en œuvre et des applications;

3° Enfin les meilleures méthodes à suivre dans les essais.

Il rappelle rapidement qu'autrefois, il y a seulement trente ans, l'acier était un métal rare, d'un prix élevé, d'une production et d'un emploi limité au petit outillage. Aussi, d'un côté, les producteurs s'entouraient de mystères en ne négligeant aucun des soins qu'on peut donner à une fabrication restreinte; d'un autre côté, pour la mise en œuvre ou transformation en outils, on choisissait les ouvriers les plus habiles, les plus soigneux, qui prenaient toutes précautions pour *chauffer*, *forger*, *tremper* et *recuire* un métal aussi précieux. Il n'est donc pas étonnant que nous rencontrions de vieux ouvriers qui affirment qu'autrefois la qualité des aciers et des outils était de beaucoup supérieure. Et lorsque nous voulons nous adresser à des fabriques comme celle d'Hunstmann à Sheffield, dans laquelle on n'a rien changé des vieilles méthodes, nous obtenons l'ancienne qualité mais à des prix élevés, cela va sans dire.

A côté de ces aciers supérieurs, fabriqués autrefois avec des fers de Suède de première marque, nous n'avions plus que des qualités très-inférieures fabriquées avec des fers de pays cémentés, que tous les efforts des chimistes de l'époque n'ont pu faire arriver à une qualité intermédiaire. C'est là ce que M. Leplay signalait en affirmant que jamais on n'arriverait à remplacer *la propension aciéreuse* des fers spéciaux.

Depuis, la question s'est complétement déplacée, la création des chemins de fer, le

développement de l'industrie ont amené des besoins nouveaux, on a trouvé le fer insuffisant, et parallèlement nous avons eu le développement des aciéries et la création des nouveaux aciers dont nous discutons aujourd'hui la valeur. — Notons que cela n'a en rien modifié la fabrication des aciers supérieurs pour outils.

Les conséquences économiques étaient faciles à prévoir, la demande a produit la concurrence en même temps que l'abaissement des prix et de la qualité. — Un engouement, peut-être irréfléchi, a fait remplacer presque partout le fer par l'acier, et de là des mécomptes qui vont jusqu'à faire discuter sérieusement que certains aciers ne sont bons que parce qu'ils sont du fer bien fabriqué ! — Cette réaction me paraît aussi dangereuse que l'engouement. Nous nous trouvons en présence de produits et de procédés nouveaux, qui exigent encore des essais et des expériences pour arriver à une appréciation certaine. — Actuellement, nous sommes en présence de produits qui varient de la fonte au fer, et qui ont encore besoin de se classer comme valeur industrielle. Nul doute, d'ailleurs, que les aciéries beaucoup moins chargées de travaux ne fassent de grands efforts pour affirmer et régulariser les différentes qualités selon les nécessités des applications.

Il reste enfin à dire « ce que devra être l'acier dans l'avenir. » M. Limet répond, *un métal intermédiaire entre le fer et la fonte, plus homogène que ces deux extrêmes et caractérisé par la propriété remarquable, soit de durcir, soit d'augmenter de ténacité et d'élasticité par la trempe, devant arriver à se classer par qualité aussi bien que le sont aujourd'hui les fers.*

En discutant les différentes parties du travail statistique de M. Nozo, M. Limet discutera les deux autres questions qu'il a posées.

M. LE GÉNÉRAL MORIN fait observer que c'est une nouvelle face de la question; mais on ne peut accepter qu'on obtienne toujours le même acier des mêmes matières, quand on voit dans les aciéries le travail qu'on fait pour trier et assembler les aciers de même qualité.

M. BEAUDOIN annonce à la Société que M. le baron de Rostaing, qui s'occupe depuis longtemps de la fabrication de l'acier, est arrivé à des résultats dont il se propose d'entretenir la Société prochainement.

Séance du 6 Mars 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

La parole est donnée à M. Tronquoy, pour lire une étude sur la composition des fers et des aciers, adressée à la Société par un de ses membres, M. Ch. Belanger.

M. Belanger dit qu'il est difficile de se faire une opinion bien nette de l'importance des progrès accomplis dans l'industrie des aciers, au milieu des controverses dont elle est aujourd'hui l'objet.

La note de M. Nozo est encore de nature à apporter le doute sur la valeur industrielle des procédés divers que la science a tenté d'introduire dans la fabrication.

Il serait triste cependant de conclure que tant d'efforts dussent aboutir à des résul-

tats insignifiants, peut-être nuls; de voir la France long-temps encore tributaire de l'étranger pour l'acier fin de ses outils, enfin de perdre l'espoir de voir un corps plus résistant que le fer le remplacer dans ceux de ses emplois qui exigent la force réunie à la légèreté.

Mais M. Belanger croit que l'étude des aciers n'est qu'à sa naissance, et qu'elle n'a pas même encore été envisagée au point de vue rationnel.

Le faisceau des connaissances actuelles sur les fers et les aciers manque de lien, les faits ne sont pas convenablement coordonnés, par suite les recherches scientifiques perdent l'unité de direction indispensable.

Le fait suivant semble à M. Belanger être le lien cherché : il consiste en ce que *les agents d'aciération du fer doux, quels qu'ils soient, jouent un rôle dont l'énergie semble hors de proportion avec leurs masses.*

Autour de ce fait, convenablement expliqué, se groupent facilement, sans se gêner et sans se détruire, les connaissances anciennes et les découvertes modernes.

L'explication, si elle est reconnue vraie, introduira la méthode dans les recherches, la constance dans les résultats pratiques.

Passant à l'explication du fait, M. Belanger signale les modifications profondes opérées dans les propriétés du fer par quelques millièmes de corps étrangers, et particulièrement par le soufre, le phosphore, le carbone, l'azote, etc. Il ne croit pas qu'on puisse attribuer cette puissance d'action à d'aussi minimes quantités, isolées dans la masse; mais il suppose que chacun de ces corps s'unit chimiquement avec le fer et produit des composés, plus ou moins définis, dans lesquels entre une grande proportion de fer, et dont il cite quelques exemples.

En présence de l'immense variété que présentent les fers et les aciers du commerce, il paraît naturel de supposer que ces combinaisons chimiques se produisent dans la fabrication, et que ce sont les alliages nombreux qui en résultent qui imposent au fer doux leurs propriétés variables à l'infini.

C'est ainsi que, si on suppose du fer contenant un millième de soufre, trois millièmes de phosphore, cinq millièmes de silicium, quatre millièmes d'azote, on peut, si l'hypothèse ci-dessus est admise, considérer ce fer comme contenant :

1,4 de sulfure de fer,
2,4 de phosphure de fer,
5,5 de siliciure de fer,
3,2 d'azoture de fer,

Ensemble 12,5 pour 100 d'un alliage, dans lequel le fer pur se trouverait en dissolution, et dont la composition en centièmes serait la suivante :

11,20 de sulfure de fer,
19,20 de phosphure de fer,
44,00 de siliciure de fer,
25,60 d'azoture de fer.

Si on ajoute que le même fer peut contenir en outre et simultanément d'autres combinaisons du même genre, on voit en définitive que l'alliage qui sert de gangue au fer resté pur peut atteindre des proportions considérables, en rapport avec le rôle joué par les matières étrangères qui en déterminent la naissance.

Si on tient compte, en outre, des variations que subissent les propriétés des alliages avec leur composition, et même avec les quantités de matières mises en présence,

on ne sera nullement étonné des incertitudes et des variations que présente la fabrication des fers et des aciers.

Les opérations indiquées par M. Fremy donnent des résultats bien différents, suivant qu'on opère sur du fer pur ou sur du fer contenant seulement quelques millièmes de corps étrangers. Comment donc ce procédé ou tout autre, appliqué en quelque sorte au hasard, donnerait-il des produits constants?

De ce qui précède, M. Belanger conclut que *la marche à suivre pour l'étude complète de la question du fer et de l'acier consiste à déterminer la nature et la composition des combinaisons du fer avec les corps simples qui s'allient à lui en lui conservant l'aspect métallique; en second lieu, à étudier les propriétés des innombrables alliages qui peuvent prendre naissance par le mélange de ces combinaisons; enfin, à déterminer les moyens de réaliser à coup sûr, dans la fabrication du fer, ceux de ces alliages auxquels on aura reconnu des propriétés utiles.*

En procédant ainsi avec méthode, en profitant de tout ce qui est acquis par la science et par l'industrie, M. Belanger croit possible d'arriver assez vite à des résultats utiles et surtout constants.

La dureté, la malléabilité et surtout la fusibilité paraissent être les propriétés les plus importantes à comparer dans les divers alliages. Chacune d'elles semble en effet devoir influer notablement sur les qualités du fer.

La parole est ensuite donnée à M. Limet.

M. Limet dit qu'en passant rapidement en revue le travail purement statistique de M. Nozo, il tâchera de dégager un des côtés du rôle de l'ingénieur, celui qui concerne la mise en œuvre de l'acier, soit dans l'étude des moyens mécaniques ou des applications de la chaleur, soit dans l'étude de leurs résultats.

Tout produit nouveau a le privilége d'exhumer toutes les vieilles théories, tous les vieux procédés oubliés, abandonnés depuis longtemps. Ainsi en a-t-il été pour l'acier, qui a donné lieu à une véritable course au clocher de prétendues découvertes, de théories hasardées qui n'ont conduit à aucun résultat pratique, si on en excepte toutefois les perfectionements du puddlage et le procédé Bessemer.

Parmi les quelques tentatives infructueuses faites au chemin de fer du Nord, et citées par M. Nozo, celle de l'application du procédé Uchatius, M. Limet fait une citation rétrospective assez curieuse. — Il a trouvé, dans l'ouvrage de David Mushet (*Papers on Iron and steel*. Londres, 1840), qu'en 1790, les usines de Cyfartha avaient essayé, sur une grande échelle, de la fabrication du fer *par la granulation de la fonte*.

On coulait plusieurs tonnes de fonte sur une grande meule horizontale dont le mouvement rapide régularisait la granulation.

On plaçait ensuite cette fonte granulée dans de grands creusets à couvercles avec une certaine proportion de battitures ou de crasses de cinglage renfermant 55 à 60 0/0 de peroxyde de fer. — On chauffait ces creusets dans un fourneau à air *à la flamme de la houille*, la fonte se réduisait d'abord au contact de l'oxyde, puis le fer prenant naissance, on portait la loupe au marteau.

Que de choses prétendues nouvelles dans cet essai qui date de soixante-dix ans!

M. Nozo termine sa revue historique en disant qu'on a vainement essayé, au chemin de fer du Nord, les procédés de cémentation indiqués par M. Frémy, tant pour cémenter plus rapidement les pièces de machines qu'on ne peut encore faire en acier, que dans l'espoir d'arriver à produire *des aciers fondus de choix pour outils à bon marché*.

Écartant ce dernier espoir, dont la satisfaction lui paraît trop hypothétique, M. Limet, puisqu'il s'agit d'historique, croit devoir rappeler ce qu'il a déjà dit il y a deux ans, c'est que de 1856 à 1858, il a fait de la cémentation profonde, rapide, le plus facilement du monde, en opérant rationnellement.

En effet, le vieux procédé de cémentation en paquet consiste à placer les pièces dans une caisse avec du charbon mélangé de substances plus ou moins actives, suivant les quantités de produits azotés qu'elles contiennent, de la corne, des vieux cuirs, du sel ammoniac, etc., etc.

Or que se passe-t-il dès que l'on commence à chauffer cette caisse qui doit être portée au rouge cerise vif pour que la cémentation ait lieu? Tous les produits volatils s'échappent, sans action sur le fer qui reste en présence du charbon pur. — M. Limet mettait donc les pièces avec du charbon potassé, grossièrement concassé pour faciliter la circulation des gaz, chauffait au rouge cerise vif, et *alors seulement* lançait dans la caisse, à l'aide d'un tuyau, des gaz provenant d'un petit récepteur chauffé à part.

Ces gaz étaient fournis par la décomposition de toutes les matières ammoniacales ou azotées qu'on a employées de tout temps pour cémenter, ou par du cyanure de potassium distillé. — Il est beaucoup plus simple, ainsi que l'a indiqué depuis M. Fremy, de distiller de l'ammoniaque liquide, mais les résultats sont les mêmes.

Du reste tout récemment, en mettant à profit cette observation, on a parfaitement réussi au chemin de fer du Nord. A tort peut-être, M. Limet n'attache pas d'importance à ces cémentations au paquet; il croit que dans un avenir prochain toutes les pièces en fer cémentées seront remplacées par des pièces en acier de qualités convenables et convenablement travaillées.

Aciers à outils. M. Nozo dit avec raison que la qualité est la condition première; mais lorsqu'il donne la préférence à la marque anglaise et justement célèbre d'Hunstmann, M. Limet répond : Donnez en France des prix aussi rémunérateurs, des commandes suivies et importantes, et vous obtiendrez la même qualité.

Aciers pour ressorts. En citant les résultats obtenus, M. Nozo fait observer que dans cette application surtout une bonne qualité d'acier serait nécessaire.

M. Limet s'étonnerait donc justement de ne pas trouver ces bons aciers appliqués aux ressorts dans les chemins de fer, si ici n'arrivait une observation générale pour tous les emplois d'acier, et que M. Forquenot a déjà présentée: *c'est qu'un bon acier mal employé donne un résultat détestable* ou au moins aussi mauvais qu'un acier de qualité très-inférieure.

Or, M. Limet constate que si jusqu'à présent on s'est beaucoup préoccupé des qualités variables de l'acier, si on a établi avec soin les conditions des essais, on a complétement négligé la mise en œuvre qui est encore abandonnée à la routine des ateliers. Et cependant, à tous égards, le problème est digne de l'ingénieur, et par ses difficultés et par son étendue. Il s'agit en effet, toutes choses égales d'ailleurs, de déterminer les lois :

1° Des actions mécaniques;

2° Des actions calorifiques;

Sur l'acier et par conséquent sur le fer, qui toutes sont encore à peu près inconnues.

Dans les deux cas, connaissant le travail à produire, nous ignorons dans quelles limites nous pourrons faire varier les facteurs. Si nous devons employer un marteau à grand poids et petite vitesse, ou un marteau d'un poids moindre et d'une vitesse

plus grande. Dans quels cas nous devons recourir à une température élevée pendant peu de temps ou à une température moindre, mais plus prolongée. Et comment estimer ces températures, n'ayant aucun indicateur réellement pratique.

De là des mécomptes et des accidents dont la cause est souvent fort douteuse. Est-ce à la qualité de la matière ou à la mise en œuvre qu'on doit l'attribuer?

Revenant aux ressorts, en ce qui concerne leur mise en œuvre, M. Limet affirme qu'autant de lames, autant de résultats différents avec les moyens actuels de fabrication qui, d'ailleurs, n'ont pas changé depuis qu'on fait des ressorts pour chemins de fer.

C'est ainsi que sous prétexte de cintrer plus facilement et de pouvoir tremper sans chauffer à nouveau, après le cintrage on chauffe les feuilles à une température de 1400 à 1600°, qui altère *toujours* l'acier, et rend impossible l'emploi d'aciers supérieurs. Et cependant, comme l'a si bien dit M. Nozo, *un ressort en bon acier, bien établi, devrait avoir une durée presque indéfinie.*

Cette altération des aciers, par une mise en œuvre vicieuse, est rendue manifeste, évidente par l'impossibilité où l'on se trouve de tremper plusieurs fois de suite et sans accidents une même feuille.

Il y a donc lieu de rechercher les conditions désirables de cette mise en œuvre. Pour les ressorts où toute la masse est intéressée et doit agir, il faudrait donc :

1° Ne chauffer qu'à la température que peut supporter l'acier sans altération, sauf à augmenter la puissance des machines à cintrer;

2° Tremper *à cœur* avec une égalité absolue de température et de refroidissement;

3° Recuire, en raison de la forme même des lames, qui fait que la surface concave *de plus grand allongement* doit agir en sens inverse de la surface convexe.

M. Limet espère être bientôt à même de communiquer à la Société les moyens de chauffage par lesquels il croit satisfaire à ces conditions générales d'un bon emploi de l'acier dans le cas particulier de l'application aux ressorts. Il fait remarquer que le tableau graphique des essais de ressorts qu'a fait dresser M. Nozo, et où chaque lame accuse un résultat différent, confirme complétement ce qu'il vient d'exposer.

Pièces mécaniques diverses, essieux, bandages. M. Limet aurait à faire les mêmes observations, il examinera donc seulement ce qui se passe lorsqu'on chauffe un corps métallique, soit pour le forger, soit pour le tremper ou le recuire. Prenant un essieu, par exemple, le calorique a d'abord un mouvement de la circonférence au centre, le travail mécanique, dû à la chaleur, c'est-à-dire le changement d'état moléculaire a également lieu de la circonférence au centre, et il en résulte que cette circonférence sera traversée par une quantité de chaleur beaucoup plus considérable que les molécules centrales.

Que si, par une action brusque, comme le forgeage ou la trempe, on modifie l'état moléculaire avant que cet état ne soit parfaitement le même au centre qu'à la circonférence, on créera des zones concentriques en des états différents d'équilibre et on altérera proportionnellement la ténacité du corps, ce qui, selon M. Limet, explique bien des accidents de rupture.

M. Limet se réserve de revenir sur ce sujet si intéressant; mais, dès aujourd'hui, il croit devoir signaler un fait d'observation pratique qui peut permettre d'éviter nn grand nombre de ces accidents, et aider à l'établissement d'une théorie rationnelle des effets calorifiques de l'acier.

Lorsque la température nécessaire est arrivée au centre, si on place le corps dans

un milieu à une température un peu inférieure, il se produit alors un mouvement en sens inverse, une émission de calorique du centre à la circonférence. Les couches extérieures perdent ce qu'elles avaient en trop, l'équilibre s'établit, et si à ce moment on forge ou on trempe, on arrivera à un résultat presque identique à la circonférence et au centre, ou au moins la dégradation sera insensible, et la ténacité comme l'homogénéité seront à leur maximum.

M. Limet termine en rappelant encore, comme l'a déjà fait M. Forquenot, l'importance des formes dans l'emploi de l'acier dont les fibres courtes ne doivent jamais être coupées au rabotage ou au tour qu'il faut approcher autant que possible de la forme définitive au forgeage en ayant toujours soin de rétablir l'équilibre, c'est-à-dire l'homogénéité par des recuits convenables.

Des essais des aciers et pièces d'acier. M. Limet ne peut aborder cette discussion aujourd'hui, mais il doit répondre à M. Tresca que, pratiquement, on doit établir une grande différence entre la résistance absolue et relative, c'est-à-dire que toutes les fois (ce qui arrive fréquemment) qu'on aura intérêt à éviter, la déformation des pièces, l'emploi de l'acier sera avantageux, pourvu que ces pièces soient établies de manière à rester toujours de beaucoup au-dessous des efforts de rupture.

Il ajoute enfin que les essais ne sont probants que lorsqu'ils ont lieu sur les pièces mêmes, c'est-à-dire avec les dimensions et formes définitives, et que l'on doit singulièrement se défier d'une théorie de résistance qui serait établie par des essais faits sur des échantillons de très-faibles dimensions.

M. Tresca demande la parole pour répondre aux questions posées par M. Limet au sujet des expériences entreprises au Conservatoire pour comparer la résistance du fer à celle de l'acier.

Il attache, ainsi que M. Limet, une grande importance aux recherches qui seront entreprises pour améliorer les conditions d'emploi de l'acier; mais en attendant que les progrès soient réalisés dans la fabrication, il lui semble qu'on peut déjà présenter quelques considérations relatives à l'état actuel des choses.

Dans la précédente séance, M. Tresca a posé cette question :

Étant donnée une pièce mécanique à confectionner, dans quel cas faudra-t-il employer l'acier? dans quel cas faudra-t-il employer le fer?

Deux ordres de considérations conduisent ordinairement à la solution des problèmes de ce genre:

1° L'examen des résultats fournis par la pratique;

2° Les considérations théoriques.

Si nous avions un grand nombre de documents du genre de celui que vient de nous fournir M. Nozo, nous serions suffisamment éclairés pour résoudre pratiquement la question; mais, en l'absence de pareils documents, il faut demander aux considérations théoriques tout ce qu'elles peuvent nous donner.

Il croit qu'on peut déduire des expériences déjà faites et de l'état connu des deux métaux quelques indications sur les circonstances dans lesquelles l'un est préférable à l'autre.

Les essais sur l'acier, entrepris au Conservatoire par M. Tresca, sous la direction de M. le général Morin, ont porté sur deux natures de produits, sur des aciers Krupp et sur des aciers Petin et Gaudet. Ces aciers ont d'abord été soumis à des expériences de flexion, en opérant sur les barres telles que les ont livrées les usines afin d'affran-

chir leurs résultats des causes d'erreur résultant d'un travail de forges quelconque, dont M. Limet vient de si bien démontrer toute la difficulté.

Les mêmes barres ont été ensuite subdivisées dans leur longueur à la machine à raboter, et chaque fraction, soumise aux mêmes épreuves que la barre primitive, a donné les mêmes coefficients. On a ainsi démontré que, dans certaines limites au moins, la dimension transversale est sans influence sur le coefficient de résistance de l'acier comme sur celle du fer. Pour quelques échantillons on a pu même obtenir, par voie de traction, le même coefficient d'élasticité que celui auquel les expériences de flexion avaient conduit.

En résumé, les résistances comparatives de l'acier et du fer peuvent se traduire comme suit, lorsque les échantillons sont choisis, pour l'un et pour l'autre métal, dans les meilleures qualités.

Si on suppose une barre d'acier à section carrée, de dix millimètres de côté, représentant cent millimètres carrés de surface, si on soumet cette barre, par extension, à des efforts croissants, il se produira des allongements qui croîtront proportionnellement aux charges.

Pour 2,000 kilogrammes, l'allongement sera de un millimètre, il sera de deux et de trois millimètres pour 4 et 6,000 kilogrammes; à cette limite seulement, l'élasticité commence à s'altérer. Cependant la proportionnalité des allongements aux charges subsistera, avec quelques modifications, jusqu'à la rupture, qui arrivera vers 40,000 kilogrammes, avec un allongement maximum de cinq millimètres environ. De telle sorte que si on représente graphiquement la loi des allongements, en prenant comme ordonnées les charges, et comme abscisses les allongements eux-mêmes, on obtient, jusqu'à la limite d'élasticité, une ligne peu différente d'une ligne droite qui se prolongerait très-sensiblement jusqu'à la rupture; et, dans tous les cas, la surface limitée par cette droite donnera une évaluation maximum de travail à dépenser pour produire la rupture.

Pour les meilleurs fers les résultats sont déjà différents. Une barre, de même section que la précédente, soumise à des charges croissantes, s'allonge proportionnellement aux charges, jusqu'à 3,000 kilogrammes et, faisant abstraction de différences, d'ailleurs minimes, nous pouvons admettre que l'allongement sera comme pour l'acier de 1 millimètre par 2,000 kilogrammes; mais, au delà, les allongements cessent d'être proportionnels aux charges, ils augmentent dans une proportion très-rapide et peuvent atteindre en totalité 100 millimètres, la charge correspondant à la rupture pouvant s'élever dans certaines circonstances jusqu'à 6,000 kilogrammes ou 60 kilogrammes par millimètre carré de section.

La représentation graphique de ce résultat produit à l'origine une droite qui se confond avec celle de l'acier jusqu'à 3,000 kilogrammes, puis une courbe s'infléchissant rapidement vers l'axe des abscisses jusqu'à 5,000 kilogrammes environ correspondant à un allongement de 40 à 50 millimètres; enfin une ligne à peu près droite et presque horizontale, jusqu'à la rupture, qui arrive, ainsi qu'il a été dit ci-dessus, vers 6,000 kilogrammes, pour un allongement de 100 millimètres.

Si nous évaluons au maximum ce travail résistant pour notre tige d'acier, nous trouvons que ce maximum est représenté par la moitié du produit de l'effort par l'allongement correspondant, ou en prenant les mêmes chiffres que précédemment par $\frac{10000^k \times 0^m,005}{2} = 25$ kilogrammètres. Notre barre d'acier rompt, dans les conditions de l'expérience, sous l'action d'un travail total de 25 kilogrammètres; la barre de fer

ne rompra que si l'on développe sur elle une quantité de travail cinq ou six fois aussi grande.

Cette différence mérite d'être prise en sérieuse considération, et sans nous jeter dans aucune exagération, nous pouvons dire que le fer nous donnera plus de sécurité que l'acier toutes les fois que nous pourrons craindre, eu égard aux circonstances dans lesquelles la pièce devra fonctionner, l'action d'un travail mécanique supérieur à 25 kilogrammètres.

Si donc l'acier est préférable au fer lorsqu'il est employé à supporter un poids déterminé et invariable, en dehors de toute chance de trépidation ou de mouvement, puisqu'on pourrait à la rigueur lui faire soutenir, dans ces circonstances, une charge même voisine de 100 kilogrammes, il y a lieu de se tenir dans une grande réserve sur les conclusions à porter, dans les cas où l'action des efforts se traduirait par une quantité de travail plus ou moins voisine de la limite que nous venons d'indiquer.

Lorsqu'on calcule les dimensions d'une pièce de machine, on ne tient compte en général que d'un effort limité, et cette considération est suffisante toutes les fois qu'il s'agit d'une action exercée à l'état de repos; il n'en est plus de même quand la pièce doit être soumise à des actions dynamiques dans lesquelles on ne connaît pas généralement l'énergie des efforts exercés; la seule appréciation que l'on puisse porter est celle relative aux quantités de travail mises en jeu, et suivant que ces quantités de travail se dépenseront par les résistances moléculaires, avec plus ou moins de rapidité, il en résultera des efforts qui pourront, pour le métal qui s'allonge le moins, déterminer la rupture.

On se rendra compte, comme pour l'acier, du travail total auquel le fer aura résisté, en prenant la surface comprise entre la ligne représentant la loi des allongements et l'axe des abscisses.

De la comparaison de ces résultats on déduit :

1° Que jusqu'à 3,000 kil., ou 30 kil. par millimètre carré d'effort, l'acier ne vaut pas mieux que le bon fer ;

2° Que si on dépasse cette limite, le fer commence à perdre de son élasticité, il se déforme, tandis que l'acier, sans que son élasticité soit altérée, peut supporter quelquefois des charges de 60 kil. par millimètre carré; au delà de 30 kil. par millimètre, l'acier est par conséquent préférable au fer, sous réserve toutefois des conditions pratiques qui seront indiquées ci-après ;

3° Que le fer peut, avant de rompre, développer, par suite de sa constitution moléculaire et de sa ductilité, un travail résistant beaucoup plus considérable que l'acier. C'est ainsi que pour les actions au repos l'acier nous paraît excellent, tandis que le fer est préférable pour résister aux actions dynamiques, telles que nous venons de les définir. On peut dire de lui, comme on dirait du bois par rapport au fer : il prévient avant de rompre; l'acier rompt mais ne prévient pas.

Donc toutes les fois qu'on aura des charges tranquilles à supporter, on devra choisir l'acier. On sera souvent conduit à employer le fer pour les pièces auxquelles les efforts doivent être brusquement transmis, et qui par cela même seront soumises à des chocs et à des vibrations.

Or, en général, toutes ces conditions se trouvent remplies dans la plupart des organes des machines fixes, et, à un degré bien plus marqué encore, dans les pièces mécaniques qui constituent les machines locomotives ou qui entrent dans le matériel des chemins de fer.

Les essieux, par exemple, et les essieux coudés surtout, sont constamment soumis à des efforts variables et brusques; si l'effort dépasse 30 kil., le fer se déformera d'une manière permanente, mais cette action, si elle n'est pas excessive, pourra se répéter un grand nombre de fois; l'essieu en fer pourra dépenser un travail moléculaire beaucoup plus considérable que celui d'acier, et, conséquemment, le premier pourra fournir un parcours plus considérable que le second.

Toutefois, ce travail dépensé en résistances moléculaires successives aura sans doute pour effet de changer l'état moléculaire du fer, et M. Tresca trouve là une explication toute naturelle des altérations depuis longtemps observées sur ces pièces.

Lorsque cette altération a atteint un certain degré, le fer a perdu ses qualités essentielles; il ne peut plus se déformer; il est devenu cassant, et il ne tarde pas à rompre.

Dans les pièces soumises à la flexion, les seules fibres fatiguées, celles qui sont les plus allongées ou les plus distendues sont celles de la surface, et les considérations précédentes acquièrent alors une importance relative beaucoup plus grande par rapport à l'effet total.

Il ne faudrait pas en conclure qu'un ressort en fer serait meilleur qu'un ressort en acier; car, dans ce cas, ce n'est pas la résistance absolue qui entre en ligne de compte; ce qu'on veut surtout, c'est une pièce capable, sous une charge donnée, de subir des flexions étendues et répétées, sans rien perdre de son élasticité; or l'acier seul peut remplir ces conditions.

L'acier est également bon pour les bandages; ces pièces n'ont en effet qu'à résister à une action superficielle; le calcul n'entre pour rien dans la détermination de leurs dimensions, et si jusqu'à présent ils n'ont pas donné des résultats absolument économiques, c'est que les conditions d'emploi de l'acier à leur confection ne sont peut-être pas encore bien connues. Toutefois, il se pourrait que le fer, durci superficiellement, arrivât dans ce cas particulier à donner d'aussi bons résultats que l'acier.

Le durcissement superficiel du fer, auquel M. Limet ne croit pas d'avenir, semble, au contraire, aux yeux de M. Tresca, devoir se généraliser, au moins pour toutes les petites pièces.

M. Tresca considère la trempe en paquet comme un des plus grands progrès apportés à la construction des machines, dans le cours des quarante dernières années.

La trempe au paquet, ou la cémentation superficielle, fait participer la pièce aux qualités du fer et de l'acier. Elle doit conserver au corps de chaque pièce sa malléabilité au centre, tout en permettant de donner aux parties frottantes, et seulement à celles-là, la dureté nécessaire pour résister aux actions de surface.

MM. Delpech et Pascal ont été reçus membres de la Société.

Séance du 20 Mars 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. le Président annonce que M. Durenne, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur.

M. le général Morin dépose un exemplaire de la 3e édition de son Traité de la résistance des matériaux.

M. Nozo complète par trois tableaux graphiques sa précédente communication sur les applications de l'acier. Le premier tableau indique les parcours des essieux en acier et en fer; le second, les résultats des épreuves de réception des essieux; et le troisième, ceux des épreuves d'aciers pour ressorts.

M. Vuigner lit un rapport sur un projet d'écluse à sas mobiles, soumis par M. Seiler à l'examen de la Société.

Il passe rapidement en revue les divers systèmes employés d'abord pour améliorer la navigation des rivières. Aux barrages à aiguilles et aux portes de garde, qui présentaient l'inconvénient d'une dépense d'eau considérable, on a enfin substitué les écluses à simple sas, où la dépense est réduite à un volume déterminé par la section horizontale du sas et la hauteur de chute, sous déduction du volume déplacé par le bateau.

Les barrages à vannes mobiles de M. Thénard; ceux à fermettes de M. Poirée; les hausses mobiles de M. Chanoine, de M. Louische Desfontaines, peuvent être cités comme exemples des nombreux perfectionnements apportés récemment à la construction des barrages accolés aux écluses dans les grandes rivières.

Lorsque les chutes à racheter ont une grande hauteur, on a souvent employé deux ou un plus grand nombre de sas accolés longitudinalement; mais, alors, la dépense d'eau est plus considérable qu'avec les écluses simples; elle peut être réduite de moitié avec le système de sas accolés latéralement. Les deux sas accolés peuvent être mis en communication par une bonde, au moyen de laquelle, lorsqu'un sas est rempli pour le passage d'un bateau, on verse la moitié de l'eau dans le second sas; le volume restant est la seule dépense pour le passage du premier bateau, et le second sas peut donner passage à un second bateau, au moyen d'un demi-remplissage.

Ce système, employé dès 1837, sur divers canaux d'Angleterre et d'Écosse, a été proposé par M. Vuigner pour un canal de jonction de l'Ourcq avec les canaux des Ardennes, dont l'alimentation, au point de partage, présentait de grandes difficultés; il a été ensuite appliqué par lui aux écluses établies en 1842 sur le canal de l'Ourcq.

Des ingénieurs anglais avaient eu enfin l'idée d'établir des écluses à sas mobiles accolés latéralement pour racheter des chutes considérables, et M. Vuigner a visité à la même époque une écluse de ce système établie à Taunton et qui fonctionne encore aujourd'hui. Les sas sont formés de bacs qui se font équilibre au moyen de chaînes passant sur trois grandes roues à gorge, et qui peuvent ainsi alternativement être amenés au niveau des biefs d'amont et d'aval. Chaque bac est muni, à ses extrémités, de portes qu'on manœuvre en même temps que les portes correspondantes de ces biefs lorsqu'on veut faire passer un bateau. Des dispositions très-simples assurent l'étanchéité au moment de l'ouverture de ces portes. La manœuvre des bacs est faite par le moyen d'un treuil et d'un frein reliés à l'une des grandes poulies à gorge.

Dans ce système, on peut donc racheter de fortes chutes sans dépense d'eau appréciable. A Taunton même, où ordinairement les bateaux descendants sont chargés, tandis que ceux montants sont vides, les bacs font remonter, dans le bief supérieur, une quantité d'eau suffisante pour le service d'une écluse ordinaire, à sas accolés latéralement, placée en aval de l'écluse à sas mobiles.

Les bacs de Taunton ont $8^m,92$ de longueur, $2^m,50$ de largeur et 1 m. de profondeur; la chute est de $7^m,31$.

Un projet complet dans ce système a été étudié en 1838 par M. Vuigner pour relier le canal de l'Ourcq à la Marne, en aval de Lizy. Les bacs devaient avoir 28m,00 de longueur, 3m,00 de largeur et 1m,20 de profondeur, la hauteur à racheter étant de 8m,00. On avait songé aussi à l'établissement des sas mobiles se mouvant sur des plans inclinés.

Tel était l'état de la question lorsque M. Seiler a eu l'idée d'un appareil dit aérohydrostatique qui, dans la pensée de l'auteur, peut recevoir de nombreuses applications.

En ce qui concerne les écluses, M. Vuigner cite l'extrait suivant d'un rapport de M. Huet, ingénieur du service municipal, sur un projet d'écluse de ce système pour les canaux de Paris, projet dont les dessins sont remis à la Société.

« A une écluse ordinaire, M. Seiler substitue un bac, une caisse en tôle de la longueur et de la largeur d'un sas d'écluse, et d'une tenue à peu près égale à celle « du canal; cette caisse peut se mouvoir de haut en bas et de bas en haut dans la « limite de la hauteur de chute à racheter, de manière à venir se placer alternativement au niveau de chacun des deux biefs qu'elle doit racheter l'un de l'autre.

« Pour pouvoir mettre en mouvement ce bac rempli d'eau, dont le poids n'est pas « moins de 1,100,000 kilog. pour une longueur de 45m,00, une largeur de 8m,00, une « hauteur de 2m,50, M. Seiler le suspend par l'intermédiaire de quatre gazomètres; « puis il l'équilibre par un bac semblable, placé à l'extrémité d'un des biefs consi« dérés; de telle sorte que, dans le système de M. Seiler, les écluses sont accouplées « et présentent deux à deux, à l'extrémité d'un bief intermédiaire, la même di« mension et la même chute; une canalisation souterraine permet de mettre en « communication l'air comprimé dans les huit gazomètres dont se composent ces « écluses accouplées et d'en équilibrer ainsi la tension.

« On règle à l'origine la quantité d'air renfermée dans le système des gazomètres « et des conduites, de telle sorte que les deux bacs se trouvent en même temps au « niveau du bief intermédiaire, ou bien que, l'un d'eux étant au niveau du bief su« périeur, l'autre se trouve au niveau du bief inférieur; admettant que ce système « puisse se maintenir ainsi sans déperdition d'air, il est réglé pour toujours, et des « manœuvres fort simples permettront de le faire fonctionner; en effet, les gazomè« tres communiquant dans les conditions qui viennent d'être indiquées, il y a équi« libre dans le système, et les deux bacs forment les deux plateaux de ce que l'au« teur a appelé une balance aérohydrostatique; lorsqu'il y a communication « complète et libre de l'air comprimé dans le réseau, une faible surcharge ajoutée à « l'un des bacs augmente la pression de l'air des gazomètres correspondants, et cet « air s'écoule à l'autre extrémité du système, en soulevant le bac opposé d'une hau« teur égale à celle dont s'abaisse le premier.

« La fermeture de la communication par laquelle s'écoule l'air comprimé arrête « immédiatement le mouvement en même temps qu'un frein d'une disposition spé« ciale fixe d'une manière stable la position du bac, quelque variation que puisse « d'ailleurs éprouver la tension de l'air des gazomètres.

« M. Seiler emploie l'eau comme surcharge; dans ce but, il donne au plafond de « chacun des biefs du canal une pente telle que la tenue d'eau y soit de 0m,40 plus « considérable à l'aval qu'à l'amont, c'est-à-dire qu'elle soit de 2m,50 à l'aval, par « exemple, si elle est à l'amont de 2m,40. Dans ces conditions, si l'on suppose que les « deux bacs aient été mis respectivement en communication avec les biefs supérieur et « inférieur, le bac supérieur aura, comparé au bac inférieur, une surcharge d'eau de

« 0m,10 ; et, aussitôt la communication de l'air établie dans le gazomètre, il s'abaissera jusqu'à ce qu'il arrive au niveau du bief intermédiaire, niveau qu'atteindra en même temps le bac inférieur dans son mouvement ascendant; tous deux s'y arrêteront par la fermeture de la communication d'air et y seront fixés à l'aide du frein dont il a été parlé ci-dessus. Si maintenant ces bacs sont mis en rapport avec le bief intermédiaire, l'effet inverse se produit, c'est-à-dire que le bac supérieur y écoule sa surcharge d'eau que prend à l'autre extrémité le bac inférieur, et aussitôt le frein desserré et la communication de l'air rétablie, un nouveau mouvement de bascule replace les diverses parties du système dans leur position primitive.

« On voit qu'une semblable opération, qui n'est autre en résultat qu'une éclusée, ne dépense, au maximum, qu'une tranche d'eau de 0m,10 de hauteur, c'est-à-dire 36 mètres cubes, ou 1/25 environ de la quantité d'eau exigée par une éclusée dans le système ordinaire avec chute de 2m,50; la manœuvre des bateaux se fait d'ailleurs tout naturellement au moment des diverses communications des biefs avec les bacs, sans que leur présence dans les bacs change rien aux conditions d'équilibre et de mouvement qui viennent d'être indiquées.

« Dans le projet de cet appareil, les gazomètres ont 10m,00 de diamètre; la surface sur laquelle se répartit le poids d'un bac, soit 1,100,000 kilogr., est, par conséquent, de 344 mètres carrés; l'air y est donc à la pression de 3m,50 d'eau environ, soit un peu plus d'un tiers d'atmosphère.

« Quant à la surcharge d'eau de 0m,10, étendue à la surface du bac, elle répond à un poids de 36,000 kilog., auquel il convient d'ajouter, à l'origine du mouvement, celui de 6,289 kilogr., provenant de la différence de poids des quatre gazomètres hors de l'eau et immergée; elle donne lieu ainsi à une tension excédante de 0m,13 à 0m,10 d'eau, sous laquelle s'écoule un cube d'air de 3,140 mètres pour une hauteur de chute de 10 mètres; l'écoulement aura lieu en deux minutes environ, en admettant dans ces conditions une vitesse d'écoulement de 39 mètres par seconde, par un tuyau de 0m,80 de diamètre; il en résulte que le mouvement des bacs s'effectuera avec une vitesse de 0m,077 par seconde.

« M. Seiler ferme l'extrémité des bacs et des biefs du canal par des vannes en fonte qu'équilibrent des contre-poids ; la charge d'eau qui agit sur l'une de leurs faces les presse contre les coulisses entre lesquelles elles sont maintenues et en assure aussi l'étanchéité; on n'ouvre d'ailleurs ces vannes que pour mettre en communication un bac avec un bief ; en ce moment deux vannes sont à ouvrir, appartenant l'une au bac, l'autre au bief, en mettant l'intervalle qui les sépare en communication avec l'intérieur du bief; l'eau qui vient remplir cet intervalle vient en même temps faire équilibre à la pression qui agissait sur les faces opposées.

« Pour obtenir une étanchéité convenable à la jonction momentanée des bacs et des biefs, M. Seiler se sert de la surcharge de 0m,10 d'eau existant toujours dans le bac qui descend, et qui vient s'emboîter, pour ainsi dire, dans le bief inférieur, par suite d'une inclinaison donnée aux parois latérales des extrémités des bacs et des biefs; ce bac forme coin sous la pression de sa surcharge, tandis qu'à l'extrémité opposée cette même pression, qui tend à faire monter l'autre bac, y emboîte inversement l'extrémité du bief intermédiaire.

« Pour rendre plus complète l'adhérence des surfaces suivant lesquelles doit se faire la jonction, on les doublera de bois, ou même, au besoin, de gutta-percha. D'ailleurs, au moment où l'adhérence se produit sous l'action de la surcharge d'eau, ainsi qu'il vient d'être dit, les freins sont fortement serrés, de telle sorte que les bacs ne

« puissent céder ni aux variations qui pourraient avoir lieu dans la pression de l'air « des gazomètres, ni à l'effet du déplacement de la surcharge qui tend à produire un « mouvement inverse, c'est-à-dire à séparer les surfaces, aussitôt que les communi- « cations des biefs et des bacs sont établies. Du reste, la régularité des mouvements « des bacs paraît assurée d'une manière satisfaisante par le système de chaîne sans « fin, qui est prévu au projet, et qui rend solidaires les actions des quatre gazomè- « tres. »

Tout en admettant que le système de M. Seiler puisse réaliser des avantages d'une grande importance dans la navigation des canaux, surtout près des points de partage où l'alimentation fait souvent défaut, M. Vuigner élève quelques objections sur la possibilité de son application pratique et commerciale dans les conditions du projet.

Le fond et les côtés des bacs devraient être construits pour résister à des pressions considérables. Chaque chaîne ou tirant de suspension aurait une charge de 300,000 kil.; enfin, chaque poutre d'une portée de 30 mèt. entre les points d'appui serait soumise à un poids de 600,000 kil., agissant seulement sur deux points de sa longueur. Si l'on ajoute les 8 gazomètres de 10 m. de diamètre et de 30m,00 de course et les autres accessoires, on reconnaîtra facilement que les dimensions qu'il faudrait donner à tous ces organes, et les conditions de solidité et de précision dans lesquelles ces appareils devraient être construits, entraîneraient dans des dépenses énormes de premier établissement et d'entretien qui ne pourraient, en aucune circonstance, se trouver en rapport avec les avantages qu'on pourrait en retirer.

Il serait plus naturel de rester dans les dimensions des écluses généralement adoptées, dont la largeur, en France, n'est que de 5m,20, et même il serait prudent, pour une première application, de se borner aux canaux de petite dimension.

M. Vuigner examine, par exemple, comment elle pourrait avoir lieu sur le canal de jonction de l'Ourcq à la Marne. Les bacs ne pèseraient plus que 120,000 kilog., et il conviendrait, eu égard au peu de hauteur de la chute et à d'autres circonstances locales, de les accoler latéralement au lieu de les placer aux deux extrémités d'un bief intermédiaire.

On pourrait réduire de moitié le nombre des gazomètres, et supprimer les poutres et tirants de suspension, s'il était possible de placer les gazomètres directement sous les bacs.

Enfin, on pourrait encore arriver à une plus grande simplification en combinant le système de Taunton avec deux gazomètres qui serviraient à opérer le mouvement des bacs, en supprimant les treuils et freins employés dans le système de Taunton.

En résumé, soit qu'on l'applique isolément, soit qu'on le combine avec le système des écluses de Taunton, l'appareil aérohydrostatique de M. Seiler paraît pouvoir être appliqué utilement près des points de partage des canaux, ou dans la partie supérieure des rivières navigables, et il en résulterait une économie de temps et de dépense d'eau.

M. le Président a pu constater l'efficacité du système de ventelles mobiles de M. Thénard, qu'il a fait appliquer en 1842 à la manufacture d'armes de Tulle; le barrage établi sur un déversoir de 50 m. de longueur exhausse le niveau de la Corrèze de 0m,50 à 0m,60; il se manœuvre avec une très-grande rapidité et a résisté, depuis sa construction, aux crues torrentielles de cette rivière.

M. Faure a vu, en Angleterre, en 1851, un monte-charge de haut fourneau formé d'une cloche de gazomètre dans laquelle on introduit le vent de la machine souf-

flante ; l'application projetée par M. Seiler pour les monte-charges pourrait être une amélioration de ce système, au point de vue de l'économie.

M. Goschler fait remarquer que, d'après l'exemple de l'écluse de Taunton, il n'y aurait pas les difficultés que l'on pouvait craindre pour obtenir, dans le système d'écluses de M. Seiler, l'étanchéité du joint des bacs et des biefs. En ce qui concerne la transmission de mouvement, le modèle exposé semble prouver qu'elle serait opérée avec une grande facilité.

COMPARAISON

DES PROPRIÉTÉS RÉSISTANTES DU FER ET DE L'ACIER.

Observations sur la communication de M. Nozo, relative aux tentatives d'application de l'acier faites au chemin de fer du Nord, et sur les raisonnements théoriques présentés par M. Tresca dans la séance du 6 mars 1863,

PAR A. BRÜLL.

Dans la séance du 23 janvier, M. Nozo a exposé à la Société les essais nombreux et importants qu'a faits le chemin de fer du Nord, pour appliquer l'acier à divers usages où le fer était communément employé auparavant. Depuis quatorze ans environ, le chemin du Nord a cherché à substituer l'acier au fer dans la construction des boutons de manivelle, des boulons d'articulation, des tiges de piston, des glissières, des essieux droits et des essieux coudés, des bandages, des pointes de croisement et de diverses autres pièces des appareils de la voie. Pour chacune de ces applications diverses, les essais ont été faits sur des quantités importantes, dans des cas variés, avec des qualités d'acier différentes. Ces essais ont été suivis pendant longtemps avec une attention minutieuse; les produits ont été soumis à des épreuves répétées; de patientes statistiques ont enregistré jour par jour le service des pièces fabriquées; enfin, il suffit d'avoir entendu l'intéressant mémoire de M. Nozo, pour être convaincu de la consciencieuse impartialité qui a dicté toutes ses recherches.

Or, la conclusion de ce travail est que, dans la grande majorité des cas, les résultats ont été médiocres, souvent même mauvais. En dehors des appareils de la voie, dans lesquels l'acier paraît devoir réussir, ce métal n'a présenté d'avantage un peu sérieux, et encore sous le bénéfice de certaines conditions spéciales, qu'au point de vue des bandages de roues.

M. Tresca, appuyant ces conclusions de raisons théoriques exposées avec une netteté et une vigueur remarquables, a cherché à établir que l'acier ne pouvait présenter d'avantage sur le fer que dans les cas où les pièces étaient soumises au frottement et aux actions superficielles. Les résultats constatés au chemin de fer du Nord n'avaient donc rien que de très-naturel, rien qui ne pût être prévu à l'avance.

Je désire protester contre les conclusions que M. Nozo a tirées des faits d'expérience qu'il a recueillis, et que M. Tresca a appuyées par des considérations scientifiques. Je n'aurais pas osé prendre la parole sur une question aussi importante après des travaux d'une telle autorité, si je n'avais la confiance d'être dans une certaine mesure l'interprète de l'opinion générale de la Société. Et en effet, l'acier qui, comme nous l'a si bien dit M. Limet, n'était employé il y a une trentaine d'années que comme une matière précieuse, avec une parcimonieuse réserve, est appliqué aujourd'hui par les ingénieurs en quantités considérables à des emplois infiniment variés, et nous voyons, en ce moment même, s'établir des fabrications nouvelles, capables de fournir chaque année à l'industrie des milliers de tonnes d'acier. Or, d'où vient cette demande incessamment croissante ? Qui est-ce qui assure chaque jour à l'acier de nouveaux débouchés ? Ce sont les ingénieurs occupés de tous les genres de constructions métalliques, ce sont les ingénieurs civils.

Nous pensons que tout ce qui a été dit jusqu'à présent dans cette sorte de campagne contre l'acier peut se résumer en deux propositions que voici :

1° Pour des raisons théoriques, on ne doit pas préférer l'acier au fer, excepté au point de vue du frottement ; car l'acier, même de bonne qualité, se brise plus facilement que le fer sous l'action des chocs, et les chocs sont à considérer dans la plupart des applications.

2° Il faut encore bien plus éviter l'emploi de l'acier, parce que sous ce nom l'industrie fabrique des métaux très-différents et mal connus à l'avance, parce que ces métaux sont d'une qualité inférieure à celle des anciens aciers et surtout d'une qualité peu homogène, parce que enfin un certain nombre de faits démontrent les mauvais résultats fournis par l'emploi de l'acier, tel qu'on le trouve dans le commerce.

Nous examinerons successivement ces deux côtés de la question.

Pour comparer l'acier au fer au point de vue absolument théorique, M. Tresca, dans l'une de nos dernières séances, a choisi les valeurs suivantes des coefficients spécifiques de résistance de l'un et de l'autre métal.

	Fer.	Acier.
Nombres proportionnels au module d'élasticité.....	20^{k}	20^{k}
Limite d'élasticité pour 1 millim. carré.....	30	60
Effort de rupture pour 1 millim. carré.....	60	100

Bien que les valeurs posées par M. Tresca soient, comme nous le mon-

trerons tout à l'heure, assez éloignées des moyennes généralement admises, et que les chiffres de 30 et 60 kilog. en particulier soient bien plus élevés que ceux qui ressortent des expériences tant anciennes que récentes faites sur des fers de bonne qualité, comme l'exactitude des nombres n'est pas nécessaire pour l'étude de la question théorique qui nous occupe, nous conserverons, quant à présent, les chiffres indiqués dans les dernières séances.

Rappelons qu'une pièce quelconque ne peut être soumise qu'à quatre genres d'efforts : la tension, la compression, la flexion transversale et la torsion, ces efforts pouvant être appliqués progressivement ou brusquement sous forme de chocs.

Dans les cas même les plus compliqués, le calcul nous apprend à réduire à ces formules simples les diverses forces qui peuvent solliciter une pièce métallique quelconque.

Supposons donc d'abord qu'une pièce de machine, une simple tige cylindrique ait pour unique fonction de supporter une certaine traction connue.

Admettons d'abord que cette traction soit exercée sans choc.

Si l'on désire seulement que la barre ne se brise pas, il suffira d'en choisir les dimensions de telle sorte que chaque unité de surface ne supporte qu'une charge moindre que l'effort de rupture, soit 60 kilog. pour le fer et 100 pour l'acier. La tige d'acier serait ainsi de 40 p. 100 plus petite que la tige de fer. Mais en soumettant ainsi la pièce d'une façon prolongée ou fréquente à un effort voisin de l'effort de rupture, on la briserait bientôt. Que fait-on alors pour obtenir plus de sécurité, on convient de n'admettre que des efforts égaux à une certaine fraction de cette résistance limite, et l'on considère cette fraction, ce coefficient, comme une mesure de la sécurité qu'on obtient que la pièce ne se rompra pas dans son service. On voit que, quelle que soit la valeur qu'on adopte pour ce coefficient, quelque degré de sécurité que l'on recherche contre la rupture, la tige d'acier restera toujours 40 p. 100 moins grosse que la tige de fer.

Mais si l'on désire éviter non-seulement la rupture, mais encore la déformation permanente de la barre, ce qui sera indispensable dans la plupart des cas, il faudra ne faire supporter à chaque unité de surface qu'une charge au plus égale à la limite d'élasticité, soit 30 kilog. pour le fer et 60 kilog. pour l'acier. Il est clair qu'en calculant ainsi les deux tiges, celle d'acier sera deux fois plus légère que celle de fer. Enfin, si l'on veut obtenir une certaine sécurité que, dans un service prolongé, l'élasticité ne sera jamais forcée, comme cela arriverait certainement à la longue à une pièce qui supporterait incessamment des efforts trop voisins de la limite, on appliquera encore ici un certain coefficient de sécurité, et on fera en sorte que chaque unité de surface ne supporte qu'une traction égale à la moitié, au tiers par exemple de la limite d'élasticité.

Ici encore et quel que soit le degré de sécurité que l'on cherche, la pièce d'acier sera bien plus petite que la pièce de fer; ou bien, à dimensions égales, la sécurité contre la déformation permanente sera plus grande avec l'acier qu'avec le fer.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'une tension brusque. Admettons, par exemple, que notre barre suspendue verticalement et terminée en bas par un renflement, doive recevoir le choc d'un mouton annulaire tombant d'une certaine hauteur.

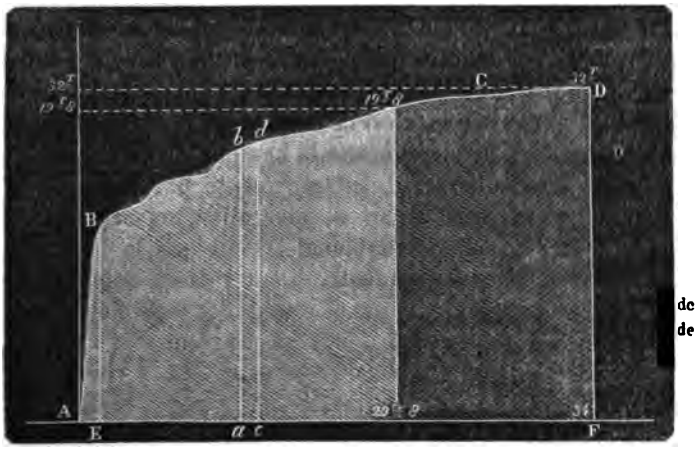
Supposons que cette barre ait été essayée à la traction lente, et qu'on ait noté les allongements successifs qu'elle prenait sous des charges croissantes.

Si l'on porte en ordonnées les charges et en abscisses les allongements correspondants, on pourra représenter le phénomène par une courbe A B C D, la courbe de résistance de la barre (*fig.* 1).

Fig. 1.

Tige de fer forgé de 1 pouce carré et 10 pieds de long, essayée par M. Edwin Clarke.

Charge de rupture totale : 22 tonnes anglaises.
Allongement extrême : 34 millièmes.



DIMINUTION :
de section, 10 0/0.
de résistance au choc, 45 0/0.

Les allongements étant d'abord et jusqu'à la limite d'élasticité A E proportionnels aux charges et d'une valeur très-petite, la portion A B sera rectiligne et peu inclinée sur la verticale. A partir de cette limite les allongements croissent plus vite que les charges et la courbe s'infléchit en B C. Dans le voisinage de la rupture, les allongements deviennent énormes pour de très-petits accroissements de charge : sous une charge suffisamment rapprochée de la charge de rupture, la barre s'allongerait même sans aucune augmentation de la force de traction. La courbe, en cet endroit, devient donc presque horizontale ou se termine par une portion C D à tangente sensiblement horizontale.

Cette forme de la courbe est d'ailleurs d'autant plus nettement accusée que le métal est plus ductile.

Or considérons l'élément de surface compris entre deux ordonnées infiniment voisines *a b*, *c d*. C'est un rectangle ayant pour hauteur une certaine valeur de la force, et pour base l'élément d'allongement qu'elle a produit. Cette aire élémentaire représente donc le travail de la force de traction, ou si l'on veut le travail justement égal des forces moléculaires pendant l'élément d'allongement considéré.

L'aire de la courbe jusqu'à une certaine ordonnée *a b* représente ainsi la somme des travaux des forces moléculaires jusqu'au moment où l'allongement était égal à A *a*.

Cette aire mesurée jusqu'au dernier allongement élastique A E donne la somme de travail développé par ces forces pendant toute la période élastique ; c'est la résistance vive d'élasticité. L'aire totale de la courbe A, D, F, représente la somme de travail développé jusqu'à la rupture, c'est la résistance vive de rupture.

Ces préliminaires posés, proposons-nous de faire en sorte que notre barre ne puisse par l'effet de la chute du mouton annulaire se déformer d'une façon permanente.

Le poids tombe, la barre s'allonge, à un certain moment, l'équilibre s'établit entre la force de la pesanteur et les forces moléculaires ; c'est que les travaux produits par ces deux forces sont justement égaux entre eux. Or le travail de la pesanteur, c'est le produit du poids de l'anneau par la hauteur dont il s'est abaissé, c'est la surface du rectangle dont la base représenterait la hauteur de chute et la hauteur du poids. Quant au travail des forces moléculaires, il est représenté par l'aire de la courbe de résistance mesurée jusqu'au dernier allongement produit. Donc cette aire est égale à celle du rectangle. Pour que la barre ne soit pas déformée d'une façon permanente, il suffit donc que la surface du rectangle puisse tenir dans la courbe sans dépasser l'ordonnée correspondante à la limite d'élasticité, il faut que la résistance vive d'élasticité soit au moins égale à la puissance vive du choc. Or, même en admettant les chiffres posés par M. Tresca, l'acier aurait encore une résistance vive d'élasticité 4 fois plus grande que le fer, l'aire du triangle correspondant à la période d'élasticité serait 4 fois plus grande ; il est donc clair que, pour résister au même choc sans déformation persistante ou avec une égale probabilité de n'en pas subir, la barre d'acier à longueur égale aurait une section 4 fois plus petite que la barre de fer, ou qu'avec la même section elle présenterait pour le même choc une bien plus grande sécurité contre cette déformation.

Mais, nous dit-on, l'aire totale de la courbe de résistance, la résistance vive de rupture, est plus petite pour l'acier que pour le fer ; nous admettrons quant à présent cette proposition que nous aurons occasion de discuter plus loin d'une façon moins générale. Si donc on se préoccupe

dans le choix des dimensions de la barre, non plus du danger de déformation permanente, mais du danger de rupture sous l'action d'un choc déterminé, on sera conduit pour l'acier à une section plus grande ou bien à une longueur plus grande, et, à dimensions égales, on aura moins de sécurité contre la rupture. Je viens de reproduire le raisonnement de M. Tresca, et je crois qu'il est en lui-même incontestable.

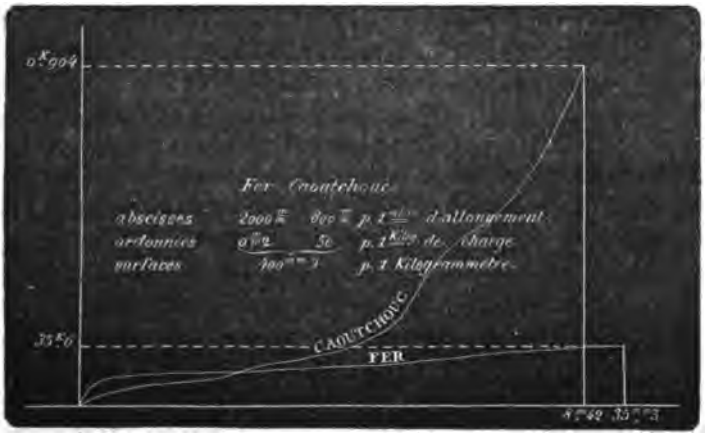
Mais j'ai fait l'expérience suivante :

J'ai pris un fil de caoutchouc carré de 2 millimètres de côté et je l'ai chargé de poids successifs jusqu'à rupture, notant à chaque fois l'allongement d'une portion déterminée du fil. Le fil s'est rompu sous une charge de 90 grammes par millimètre carré, et après un allongement de 784 p. 100 de sa longueur initiale, j'ai tracé la courbe de résistance; à l'aide des données de l'épreuve j'ai calculé l'aire totale de cette courbe par la formule de Simpson. J'ai trouvé ainsi pour la résistance vive de rupture du caoutchouc employé $1^{kgm},76$, pour un millimètre de section et 1 mètre de longueur.

J'ai pris ensuite les chiffres obtenus autrefois par M. Hodgkinson, sur une barre de fer de bonne qualité de 13 mill. de diamètre et de 15 mètres de long. Cette barre s'était rompue sous un effort de $37^{k},75$ par millimètre carré, et après un allongement de 35 millièmes. J'ai de même établi la courbe de résistance, et j'en ai calculé l'aire totale, j'ai trouvé $1^{kgm},04$, soit environ 40 p. 100 de moins pour que le caoutchouc. Le croquis ci-dessous (*fig.* 2) représente les deux courbes de résistance dont il s'agit de comparer les aires. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont différentes, mais choisies de telle façon que l'échelle des surfaces soit la même.

Fig. 2.

Comparaison des résistances vives de rupture pour 1 mètre de long. et 1^{mmq} de section d'un fil de caoutchouc vulcanisé et de la barre de fer essayée par M. Hodgkinson.



La résistance vive de rupture d'un fer considéré comme de bonne

qualité, qui est légèrement supérieure à celle de certains aciers, est de 40 p. 100 plus faible que celle du caoutchouc. Pour résister sans rompre à l'épreuve du choc que nous avons décrite, le caoutchouc vaudra mieux que cette barre de fer.

Or, malgré cet avantage, on ne fait pas de pièces de machines en caoutchouc, c'est qu'il ne suffit pas qu'une pièce ne se brise pas sous le choc, il faut encore qu'elle ne subisse pas de déformation trop grande, et aussi qu'elle ne se déforme pas d'une façon persistante.

Et en effet, en dehors de quelques exemples comme ceux d'une chaîne, d'un câble, d'une tige de traction ou autres pièces analogues qui peuvent s'allonger sans perdre en rien leurs propriétés utiles, qui sont même améliorées, dit-on, par cette épreuve, les pièces doivent conserver sensiblement leur forme : leur déformation est tout aussi importante à éviter que leur rupture. Une tige de piston qui s'allongerait de un centimètre serait tout aussi bien hors de service que si elle se brisait. Un essieu faussé ne vaut pas mieux qu'un essieu rompu. Une manivelle qui se plie, une bielle qui se coude sont hors de service.

Il faudra donc dans tous ces cas très-nombreux, choisir les dimensions en vue d'éviter non pas seulement la rupture, mais aussi la déformation permanente ; c'est contre ce dernier accident qu'il faudra rechercher un certain degré de sécurité.

On devra donc s'en rapporter non pas à la résistance vive de rupture, mais à la résistance vive d'élasticité, et faire en sorte que le travail du choc ne soit qu'une fraction déterminée de cette résistance vive. Or, nous avons vu que l'acier avait une résistance vive d'élasticité plus de 4 fois égale à celle du fer.

Nous croyons donc avoir montré :

1° Que dans les cas d'une tension progressive, l'emploi de l'acier conduit à des dimensions à peu près deux fois plus faibles que l'emploi du fer, ou à dimensions égales à une plus grande sécurité tant contre la rupture que contre la déformation ;

2° Que dans le cas d'une traction par un choc d'une intensité donnée, l'emploi de l'acier conduit à une section 4 fois plus petite que celui du fer ou à dimensions égales à une bien plus grande sécurité contre la déformation persistante, et que l'inverse n'aurait lieu, et cela sous la réserve d'un examen ultérieur, que dans le cas où, la forme des pièces n'ayant pas besoin de rester constante, on n'aurait à se préoccuper que du danger de rupture.

Le cas de la compression se discuterait d'une façon analogue au cas de la tension, les coefficients spécifiques des deux métaux seraient seuls différents ; ils sont trop peu connus, surtout pour l'acier, pour que l'on puisse avec quelque fruit étudier la question. Cependant tout porterait à croire que l'acier, l'acier fondu surtout, par une analogie avec la fonte,

présenterait sur le fer de plus grands avantages encore que pour le cas des efforts de traction.

Lorsqu'une pièce est soumise à des efforts transversaux tendant à la faire fléchir, un calcul simple permet de déduire de la grandeur et de la direction des forces, ainsi que des dimensions du solide, la grandeur des efforts de traction et de compression qui sollicitent chacune de ses fibres.

Or, ce calcul montre que la section du solide sera d'autant moindre pour un même degré de sécurité contre l'altération de l'élasticité, ou contre la rupture, que la limite d'élasticité ou la charge de rupture du corps considéré seront elles-mêmes plus grandes.

Donc, ici encore, l'acier sera préférable au fer, en ce sens qu'il permettra des dimensions plus faibles à sécurité égale ou qu'il donnera plus de sécurité à dimensions égales. Et cela est vrai comme la proposition analogue que nous avons posée pour le cas de la tension, aussi bien pour les chocs que pour les actions permanentes.

Le même raisonnement s'applique aux phénomènes de torsion.

Et comme dans tous les cas que la pratique présente, on peut toujours analyser les actions mécaniques auxquelles sont soumis les corps, de façon à y retrouver isolés ou réunis les quatre modes que nous venons de passer en revue, nous croyons être autorisé à appliquer à tous les cas les conclusions auxquelles nous sommes parvenu pour le cas de la traction. Ces conclusions théoriques peuvent se résumer ainsi :

Si l'objet à construire ne doit jamais avoir de choc à supporter, s'il ne peut être soumis qu'à des actions permanentes, l'acier, à dimensions égales, offrira plus de sécurité tant contre la déformation permanente que contre la rupture, il ne se déformera pas plus que le fer sous les mêmes efforts.

S'agit-il d'une pièce ayant des chocs à subir ; il faut se demander si la pièce peut sans grand inconvénient perdre sa forme ; si la pièce est de nature à être mise hors de service par le seul fait de sa déformation, l'acier sera préférable au fer dans une bien plus forte mesure encore que dans les cas qui précèdent.

Si l'objet peut se déformer sans être mis hors de service, si le seul danger à éviter est la rupture, le fer sera préférable à l'acier.

Mais s'il est rare qu'une pièce métallique n'ait pas de chocs à supporter, il est rare aussi qu'elle soit construite uniquement en vue des chocs comme un tampon ou un ressort.

Dans la plupart des cas les pièces sont établies pour supporter des efforts permanents ou du moins à variation progressive pouvant atteindre certaines limites, et pour subir accidentellement, en plus de ces efforts, des chocs d'une certaine intensité. Il faudra donc faire dans chaque cas la part des deux ordres de considérations qui précèdent.

Voici quelques exemples simples de l'application de ces raisonnements : s'il s'agit d'une chaîne ou d'un câble métallique auquel on veuille sus-

pendre à poste fixe et sans secousses possibles une charge dont la limite serait donnée, il faudrait choisir l'acier; si l'on a à craindre des chocs d'une intensité grande relativement aux charges, comme il importe peu en général que le câble s'allonge, même d'une façon permanente, même notablement, et que la seule chose à éviter, c'est qu'il ne puisse se rompre, on prendra le fer le plus ductile.

Dans un pont destiné au passage des trains de chemins de fer, les chocs sont à considérer; d'autre part, la déformation est de peu d'intérêt relativement à la rupture. La rupture seule doit préoccuper, il faut préférer le fer.

Un plancher, une charpente ayant moins à craindre les chocs pourraient être exécutés en acier si l'on n'avait en vue que la résistance. Une chaudière, un réservoir d'eau, un cylindre de presse hydraulique n'ont guère de chocs à supporter, l'acier y serait préféré au fer.

Un essieu coudé de locomotive subit des chocs considérables par rapport aux efforts normaux qu'il supporte; mais si les coudes s'entr'ouvrent de quelques millimètres, la machine déraille tout aussi sûrement que s'il se brisait. Les deux accidents sont également à éviter, et comme le premier phénomène précède naturellement le second, il faut d'abord éviter le premier; pour cela on choisirait l'acier.

Même raisonnement pour la plupart des pièces de machines.

Il est bien entendu que les conclusions qui précèdent font abstraction complète de toute considération de prix, de facilité de mise en œuvre, d'homogénéité de qualité, comme en général de tout ce qui est étranger aux questions mêmes de résistance.

Mais nous avons dû, pour spécifier chacun des deux métaux dont nous avons fait la comparaison théorique, admettre un groupe unique de valeurs pour les coefficients qui en expriment les diverses propriétés. Ces valeurs sont loin, avons-nous dit, d'être des valeurs moyennes. De plus, chacun sait qu'il y a des fers plus ou moins résistants, pouvant s'allonger plus ou moins avant de rompre, conservant plus ou moins longtemps leur élasticité. Il y a de même des qualités d'acier très-diverses, et il nous sera facile de prouver, en passant en revue ces différentes espèces, qu'on en peut trouver de bonnes pour chaque usage, et qu'ainsi les légères restrictions auxquelles nous sommes arrivé, ne tenaient qu'au choix du type idéal qui a servi à la comparaison. D'abord, y a-t-il des fers qui ne perdent leur élasticité qu'à 30 kilog., et ne se rompent qu'à 60 kilog.; ce sont là des chiffres posés par M. Tresca. Si nous consultons à ce sujet le *Traité de la résistance des Matériaux*, de M. le général Morin, nous trouvons en dehors des fils de fer et des fers feuillards, qui ne peuvent, bien entendu, être considérés dans la question qui nous occupe, un grand nombre d'essais à la traction. Nous y trouvons d'abord les résultats des essais de M. Bornet sur des fers à câbles; de M. Hodgkinson, sur une tige de fer de bonne qualité, de M. Pronnier sur des fers à bandages; de

M. Clark et de M. Fairbain ; de M. Gouin, de MM. Combes, Gorieu et Couche, sur les tôles. Or ces épreuves ont fourni les résultats suivants :

	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	LIMITE d'allongement.
	kilog.	kilog.	pour 100.
Fers à câbles (M. Bornet)	14 à 16	31 à 38	14 à 24
Tige de fer (M. Hodgkinson)	15	38	3, 5
Fer à bandages (M. Pronnier). Fer au coke belge.	»	32	»
Fer au bois puddlé français	»	44	»
Tôles diverses (M. Clark), sens de laminage	»	28 à 34	»
Tôles (M. Fairbain), meilleures provenances, sens de laminage	»	30 à 40	»
Tôles au bois (M. Gouin), meilleures provenances, sens de laminage	»	31 à 36	1 à 5
Tôles au bois (MM. Combes, Gorieu et Couche)	»	36 à 37	10 à 12

A côté de ces résultats se trouvent un certain nombre de données relatives à l'acier. Ce sont les résultats d'expériences faites par M. le général Morin et par MM. Combes, Gorieu et Couche.

	LIMITE d'élasticité.	CHARGE de rupture.	LIMITE d'allongement.
Barre d'acier fondu de Jackson, Petin et Gaudet, (M. le général Morin)	41^k	58^k	7,5 %
Tôle de chaudière (MM. Combes, Gorieu et Couche)	»	65 à 70	20 à 23

Ainsi parmi les nombreuses variétés de fer de bonne qualité, dont les essais sont rapportés, aucun n'a résisté sans perdre son élasticité à plus de 16 kilog., aucun n'a résisté sans rompre à plus de 40 kilog., l'allongement le plus grand a été de 24 p. 100.

L'acier au contraire n'a perdu son élasticité qu'à 41 kilog., ne s'est rompu qu'à $58^k,70^a$, et l'allongement a été jusqu'à 23 p. 100.

Il paraît ressortir de cette comparaison, que les chiffres de M. Tresca sont désavantageux à l'acier pour la comparaison qui nous occupe, et qu'il existe des aciers ductiles qui, tout en résistant à des efforts de 70 kil., prennent jusqu'à 23 p. 100 d'allongement, autant que les fers les plus ductiles. Ces aciers-là, et on en peut trouver autant qu'on en voudra, ont des résistances vives de rupture bien supérieures à celles du fer le plus mou. Je dis qu'on en peut trouver par milliers de kilogs, et je n'en veux pour preuve que les essieux d'acier puddlé fondu dont nous parlait M. Nozo, et qui ont été éprouvés au mouton jusqu'à 25 centimètres de

flèche sur 1m,50, ce qui donne plus de 10 p. 100 d'allongement. Ceux qui ont vu à l'Exposition le rail de M. Bessmer, plié en spirale sur toute sa longueur, n'en douteront certainement pas.

J'ai eu la bonne fortune de lire un ouvrage anglais qui a paru récemment, et qui renferme les résultats des épreuves à la traction faites à Glasgow, par M. Kirkaldy, sur plus de 1,300 échantillons de fer et d'acier de toute espèce.

Les résultats de ces nombreux essais peuvent se résumer comme suit.

Parmi les fers en barres, les meilleurs, ceux du Yorkshire, de Bowling et de Lowmoor résistent à 42 et même 46 kilog., tout en s'allongeant de 20 à 26 p. 100.

A partir de ces nombres, qui sont les plus beaux, la liste est longue; elle renferme 310 essais; on y trouve une série décroissante non interrompue, qui va jusqu'à 21 kilog., et moins de 1 p. 100 d'allongement en passant par tous les intermédiaires.

A côté de cette longue série, se place la série correspondante de 90 essais sur des barres d'acier. On y trouve depuis les aciers surfins à outils de Turton, et autres premières marques, jusqu'aux aciers puddlés les plus communs, depuis 93 kilog. jusqu'a 43 kilog., depuis des aciers qui s'allongent de 19 p. 100 jusqu'aux aciers durs qui s'arrêtent à 5 p. 100; on y rencontre. . . . . 83k avec 13,5 0/0

	74		12,4	
	50		18	

Dans les tôles de fer sur 200 essais :

on va de	39k	et	14	0/0
à	28k	et	2,4	0/0

en passant par toutes les gradations.

Les 80 essais de tôles d'acier vont de	68k	et	9	0/0
en passant par	59k		17	»
à	50k		6	»

L'ensemble des résultats montre nettement que, au point de vue de la résistance seule, les diverses qualités de fer tant en barres qu'en tôles, forment une série qui fait suite à celles des différentes espèces d'acier; tandis qu'au point de vue des allongements, on trouve dans les aciers, réunis à des résistances bien plus fortes, des allongements égaux et souvent supérieurs à ceux des fers les plus ductiles.

Ce volume si riche en faits précieux renferme aussi 90 expériences dans lesquelles on a mesuré les allongements successifs sous des charges croissantes jusqu'à la rupture. Malheureusement le peu de longueur des échantillons n'a pas permis de mesurer les allongements très-faibles de la période élastique. On ne peut ainsi tirer de ces essais aucune valeur du coefficient d'élasticité ni de la limite d'élasticité. On peut reconnaître cependant que, tandis que sous un effort de 21 kilogr. le fer avait, à un

très-petit nombre d'exceptions près, pris beaucoup plus de 1 millimètre d'allongement, ce qui prouve que la limite d'élasticité était dépassée, l'acier n'a généralement pas donné d'allongement mesurable avec les mêmes instruments à une charge de 35 kilogr.

De plus, en calculant l'aire de quelques-unes des nombreuses courbes de résistance que l'auteur donne dans cet ouvrage, on trouve pour bien des qualités d'acier une aire plus grande que pour des fers très-résistants et très-ductiles.

Les expériences de M. Kirkaldy montrent donc aussi qu'il est inexact de dire d'une façon générale que l'acier est plus cassant que le fer. Oui, il y a des aciers plus cassants que certains fers, et tout le monde sera d'avis, avec M. Tresca, de réserver ces aciers-là aux emplois qui exigent un métal d'une grande dureté ; mais il y a aussi des aciers ductiles et plus ductiles que ne le sont la plupart des fers, et qui allient à cette grande ductilité une résistance bien supérieure. Pour ces aciers-là, nous pouvons hardiment retirer la restriction que nous avons dû admettre tout à l'heure.

Les raisonnements qui précèdent sont théoriques. Ils ne suffiraient certainement pas à la réhabilitation de l'acier, s'il était réellement prouvé par des faits que la substitution de l'acier au fer, essayée dans de bonnes conditions pendant plusieurs années, n'a donné pratiquement que de mauvais résultats.

Il nous faut donc examiner les faits présentés par M. Nozo, pour voir s'ils sont véritablement de nature à porter dans les esprits cette fâcheuse conviction.

M. Nozo a parlé en commençant des outils destinés au travail du fer. Nous pensons qu'on ne proposera pas de les fabriquer avec une autre matière que l'acier ; et cependant la question serait vraiment discutable si l'on refusait à l'acier toute autre supériorité que sa résistance à l'usé, car il nous semble qu'un burin, par exemple, un poinçon pour percer la tôle ont besoin d'autres qualités que celle-là, et qu'il faut là un métal pouvant aussi supporter sur une très-petite section un choc ou un effort considérable.

Quoi qu'il en soit, et pour ne parler que des diverses natures d'acier qui pourraient entrer en concurrence, nous dirons que tous les ingénieurs paraissent à peu près d'accord, en raison de la grande dépense relative de main-d'œuvre, pour employer les meilleures qualités d'aciers de cémentation fondus, justement ces qualités qui existaient à peu près seules il y a trente ans. Or, ces aciers-là existent toujours à peu près aux mêmes conditions. Il n'y a donc pas là d'autres difficultés que de choisir avec discernement. Les aciers de forge corroyés, à cause de leur soudabilité, sont aussi employés avantageusement pour aciérer les parties de certains outils, comme ciseaux, rabots, pelles, pioches, marteaux, etc., qui n'ont pas besoin d'être entièrement en acier.

Vient ensuite la question des ressorts. Pourquoi les fait-on en acier? N'est-ce pas reconnaître à ce métal d'autres propriétés que cette dureté de surface à laquelle on voulait limiter ses avantages? On les fait en acier et même en acier très-économique, en acier à 80, 70, 60 fr. les 100 kilog., parce qu'on peut trouver partout pour ce prix-là un métal pouvant subir des allongements et des raccourcissements de 5 millièmes, sans approcher d'une façon dangereuse de sa limite d'élasticité, tandis que le fer a dépassé depuis longtemps son élasticité quand il s'est allongé de 1 à 2 millièmes. Quant au choix des diverses qualités d'acier, il est certain qu'il ne laisse pas que d'être délicat. Les aciers de cémentation fondus, les aciers de cémentation corroyés, les aciers naturels corroyés, les aciers puddlés fondus et non fondus se présentent à ce concours. Il semble que les chemins de fer, écartant les aciers puddlés non fondus comme présentant trop peu de garanties d'homogénéité, écartant aussi ou du moins réservant à des usages spéciaux et rares l'acier cémenté fondu, à cause de son prix élevé, emploient volontiers les autres espèces et surtout l'acier cémenté et l'acier puddlé fondu, qui fournissent la masse des ressorts de wagons et de voitures. Il faut bien avouer qu'il se trouve parmi ces aciers à bon marché des fournitures dont la qualité laisse à désirer, et qu'il est essentiel de faire des essais fréquents et rigoureux; mais il semblerait cependant, d'après les faits de la pratique journalière, que les résultats généralement obtenus ne justifient pas entièrement la rigueur du chemin de fer du Nord, qui, sur 65 livraisons, n'en a accueilli que 14 comme bonnes et en a trouvé 27 médiocres ou mauvaises.

Il faut tenir compte de la forme et des dimensions des ressorts et aussi de leur fonction. Il y a sur telles locomotives des ressorts placés dans des conditions si désavantageuses, que, bien que calculés d'après les mêmes règles que tous les autres et fabriqués avec les meilleurs aciers de cémentation fondus, ils éprouvent des accidents fréquents. Or, le chemin de fer du Nord a sous ses wagons à houille des ressorts extrêmement courts, et qui n'ont guère que 10 millimètres de flexibilité par 1,000 kilog., au lieu de 25 millimètres qu'on donne d'ordinaire. Il y a certainement là, au point de vue de la faculté d'amortir les chocs, une condition défavorable qui peut bien amener des ruptures sans que la qualité de l'acier en puisse être accusée. De là peut-être la rigueur de la spécification de réception annexée au travail de M. Nozo et les nombreux refus qui en sont la suite naturelle.

Doit-on faire en acier les pièces de mécanisme des machines, et en particulier des locomotives? Doit-on faire en acier une tige de piston, une bielle, un bouton de manivelle, un tourillon d'articulation? Disons d'abord que l'affirmative paraît être assez généralement l'opinion des constructeurs; car nous savons qu'il s'est fabriqué en France dans ces dernières années des milliers de tiges de piston, des milliers de bielles, des milliers de boutons de manivelle et des milliers de boulons d'articula-

tion en acier puddlé fondu d'une dureté plus ou moins grande. Il y a des lignes entières de chemin de fer en France et en Espagne où toutes les locomotives ont quelques-unes de ces pièces en acier. De plus, il suffit d'ouvrir le Guide du mécanicien et du constructeur de machines locomotives, ce livre où tout ingénieur de chemin de fer va de temps à autre puiser un bon conseil, pour y trouver la question toute tranchée.

On y lit, en effet, à propos des tiges de piston :

« On doit préférer l'acier, qui, indépendamment du moindre poids à « résistance égale, a l'avantage de prendre un plus beau poli et de « mieux se conserver que le fer; des tiges creuses en acier auraient une « supériorité incontestable. »

A propos des glissières de piston, on trouve :

« L'acier fondu doit être préféré à tous égards. »

A l'occasion des tiges de tiroir, on lit :

« La tige est en fer, ou mieux en acier. »

Comme conclusion d'une discussion des mérites comparatifs des diverses natures de bandages, on trouve :

« La solution doit être cherchée dans l'emploi des bandages en acier « fondu fabriqués sans soudure. Cette fabrication commence à devenir « courante. »

Nous pourrions multiplier les citations; mais on voit bien par ces quelques lignes que les auteurs de ce livre, chaque fois qu'ils ont pensé à propos d'une pièce de la locomotive à parler du métal qu'il convenait d'employer, ont toujours préféré l'acier.

On lit dans le rapport de M. Flachat, sur les locomotives de l'Exposition universelle de 1862, dont une analyse a été insérée dans le dernier compte rendu des travaux de notre Société, le passage suivant :

Progrès dans la fabrication en général.

« L'acier tend à remplacer le fer dans la construction des machines « locomotives avec une supériorité incontestable et un caractère pra- « tique qu'il est impossible de méconnaître. C'est un des faits caracté- « ristiques de l'Exposition de 1862. Déjà nous voyons dans les machines « françaises exposées des bandages de roues en acier fondu et laminé « ou en fer cémenté et laminé; des boîtes à graisse en acier fondu ou « en fer forgé et trempé au paquet; des bielles motrices et d'accouple- « ment, des tiges et des glissières de piston, des essieux coudés et « droits en acier fondu, le corps des chaudières fabriqué lui-même en « tôle d'acier de grande dimension. Il est facile de prévoir le moment

« où l'emploi de l'acier s'étendra à la fabrication des roues, des châssis « et des autres parties constitutives de la machine. »

Voyons cependant si les faits d'expérience rapportés par M. Nozo sont suffisants pour démontrer l'erreur de cette tendance très-générale des constructeurs, de ces conseils très-nets des ouvrages classiques.

A propos de boulons d'articulation, la seule expérience citée dans le mémoire rapporte que des boulons en acier trempé, livrés en 1849, se sont fréquemment divisés en service par des plans parallèles à l'axe. Nous ne pouvons voir là qu'un vice de fabrication, une trempe mal réussie.

Sur trois cents tiges de piston en acier fondu puddlé, on a observé d'assez nombreuses ruptures au clavetage. Mais bien des causes autres que la qualité de l'acier peuvent avoir amené ces ruptures au clavetage, comme par exemple du gauche dans le montage des glissières, du jeu dans la clavette. D'ailleurs les tiges en fer se rompent aussi, et le mémoire ne dit pas si la proportion des accidents a été plus grande avec les tiges d'acier qu'avec les tiges de fer. D'un autre côté, les mêmes tiges de piston ont satisfait pleinement le chemin de fer d'Orléans; il semble donc qu'il n'y ait pas non plus sur ce chapitre d'inquiétude sérieuse à concevoir.

Les résultats donnés par les dix-neuf essieux coudés en acier fondu, à cause de la durée encore insuffisante de l'épreuve, ne sont nullement concluants, comme le reconnaît d'ailleurs la note de M. Nozo. Mieux vaut s'en rapporter, pour cette question, à l'expérience qu'a faite la Compagnie d'Orléans : vingt essieux Krupp ont atteint sans détérioration, sous des machines où les essieux ont beaucoup de fatigue, des parcours dont chacun est plus élevé que le maximum de parcours effectué par les cinquante-cinq essieux en fer qui ont rompu sous ces mêmes machines.

Si l'on s'alarmait cependant des quelques ruptures survenues en service au chemin de fer du Nord, on pourrait examiner l'objection intéressante présentée dans une des dernières séances par M. Stéger, et relative à l'influence que pourrait exercer un angle vif sur la résistance d'une semblable pièce. Cette objection pourrait s'appliquer utilement à bien d'autres pièces et conduire à apporter la plus grande attention dans le choix des formes à donner aux pièces mécaniques.

Chacun connaît l'influence frappante qu'exerce sur la résistance au choc d'une barre métallique un coup de tranche qui n'en diminue la section que d'une façon insignifiante.

Pour expliquer cette influence, supposons que la tige que nous avions indiquée tout à l'heure soit réduite de section sur une très-faible portion de sa longueur.

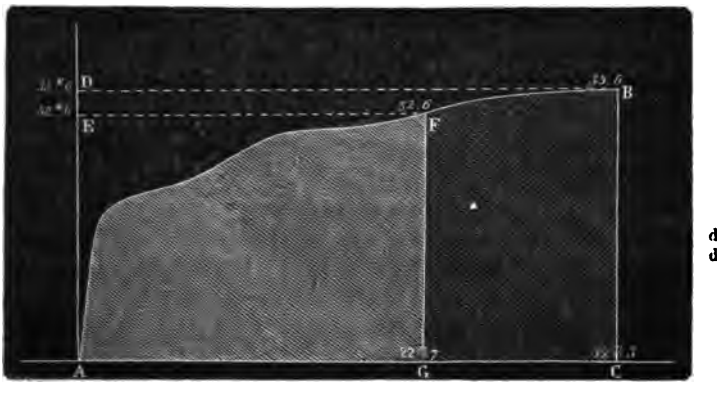
Nous avons vu tout à l'heure que l'aire totale de la courbe de résis-

tance d'une barre était justement la mesure du choc que cette barre pouvait supporter avant de rompre.

Fig. 3.

Tige de fer de la meilleure qualité, de 13 mèt. de diam., 15 mèt. de long., essayée par M. E. Hodgkinson.

Charge de rupture, 35k,6 par millim. quar.
Allongement extrême, 35 millièmes.



DIMINUTION :

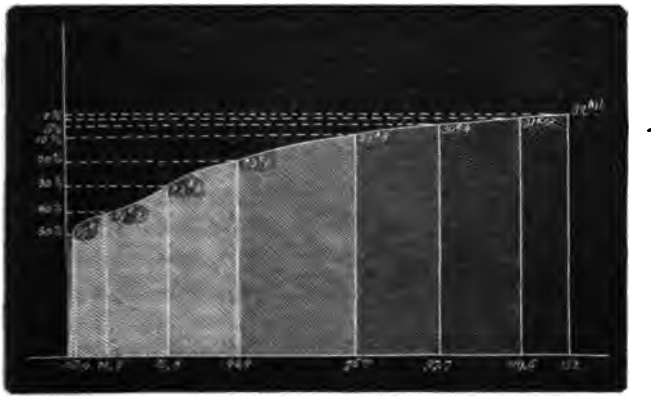
de sect. 10 0/0.
de résistance au choc. 41 0/0.

Traçons donc pour la barre primitive la courbe AB dont les abscisses sont les allongements et les ordonnées les tensions; l'aire ABC mesure la capacité au choc de la barre non entaillée; sous un même effort la barre entaillée s'allongera de la même quantité que l'ancienne, car la partie à section réduite ayant une longueur négligeable ne fournit pas d'allongement sensible (*fig.* 3).

Fig. 4.

Tige de fer à câbles de Guérigny, de 42m,5 de diam. et 6m,42 de long., essayée par M. Bornet, ingénieur des constructions maritimes.

Charge de rupture, 32 kilog. par millim. quar.
Allongement extrême, 132 millièmes.



DIMINUTION :

de section.	de résistance au choc.
1 0/0	12 0/0
5 »	27 »
10 »	46 »
20 »	72 »
30 »	85 »
40 »	95 »
50 »	19 95

La courbe de résistance suit donc absolument le même tracé. Mais si

le coup de tranche a réduit la section d'une certaine fraction, il est à supposer que l'effort de rupture se trouvera réduit à peu près dans le même rapport. Portant donc en DE la perte de résistance et menant EF, la courbe s'arrêtera en F; on voit que la partie de notre surface ainsi retranchée BCFG, en raison même de la forme de la courbe sur laquelle nous insistions tout à l'heure, est tout à fait hors de proportion avec la réduction de section.

Les figures 1, 3 et 4 représentent trois essais à la traction faits sur des barres de fer par MM. Clarck, Hodgkinson et Bornet. On voit l'énorme diminution de capacité au choc qu'amèneraient des entailles qui ne réduiraient la section que dans une assez faible mesure. Il suffirait de trancher une barre à moitié pour lui enlever presque toute sa résistance au choc et la rendre d'une fragilité extrême.

Il résulte d'une série fort intéressante d'expériences faites par M. Kirkaldy et rapportées dans son ouvrage, que la charge limite d'épreuve d'une barre qu'on entaille n'est pas abaissée tout à fait proportionnellement à la diminution de section qu'amène l'entaille, de sorte que les raisonnements qui précèdent sont, au point de vue numérique, seulement approximatifs.

L'effet d'une entaille dans une barre soumise à un choc transversal s'explique absolument de même.

Supposons, en effet, pour fixer les idées, la barre posée sur deux appuis. Chargeons-la en son milieu de poids croissants jusqu'à la rupture, et notons les flèches successives. Portons en ordonnées les charges, en abscisses les flèches. Nous aurons une courbe qui présentera absolument les mêmes caractères généraux que les précédentes; car les flèches, d'abord très-faibles et proportionnelles aux charges, croissent ensuite bien plus vite que celles-ci et finissent même par augmenter considérablement sous l'action d'un très-faible accroissement de charge.

L'aire de cette courbe représentera encore la somme des travaux des forces moléculaires. Or, la barre après entaille donnera lieu aux mêmes flèches pour les mêmes charges, si la longueur de la portion à section réduite est infiniment petite. Par suite, la courbe de résistance suivra le même tracé. Mais si la section a diminué dans le rapport de 1 à K, et que nous supposions, par exemple, qu'elle soit restée semblable à elle-même, le moment d'inertie et par suite la charge supportée diminueront dans le rapport de 1 à K^3, de sorte que l'ordonnée la plus grande de la nouvelle courbe ne sera que la fraction K^2 de celle de la courbe primitive. L'aire totale de la courbe ou la capacité au choc de la barre sera donc diminuée dans une proportion encore plus considérable que dans le cas de la barre soumise à un choc longitudinal.

Les considérations qui précèdent pourraient trouver plus d'une application intéressante à la discussion de la forme des pièces devant résister à des chocs.

Disons en passant, à propos de la cémentation, à laquelle M. Tresca pense qu'un grand avenir est réservé, que ces considérations montrent qu'une barre cémentée, n'ayant guère que la résistance du fer et l'allongement de l'acier, réunirait plutôt au point de vue de la capacité au choc les défauts des deux métaux qu'elle n'en réunirait les qualités.

Nons arrivons maintenant, en poursuivant la lecture du mémoire de M. Nozo, aux essieux de wagons. L'expérience du chemin du Nord, qui porte sur 478 essieux, pourrait être plus concluante que celle des essieux coudés. Malheureusement, nous trouvons, dès le début, 120 essieux refusés à l'épreuve. Mais il faut considérer qu'en 1857, époque où ces livraisons furent faites par la maison Petin et Gaudet, on fabriquait pour la première fois des essieux de wagons en acier; plusieurs fautes furent faites dans cette fabrication, fautes reconnues par les fabricants eux-mêmes. D'abord la masselotte du lingot d'acier n'ayant pas été assez haute, il se trouva des impuretés dans l'extrémité de quelques-uns des essieux, à tel point qu'il y eut des fusées dont la section presque entière était occupée par du laitier qui, au moment du tournage, apparaissait même à la surface. De plus, une nature d'acier très-vive, une trempe dans l'eau courante très-froide, contribuèrent à rendre ces essieux inacceptables. Nous pensons que, dans la discussion qui nous occupe, il est juste de les mettre hors de cause; or, qu'a-t-on à dire contre les 358 essieux restants; un s'est rompu à la fusée, deux autres ont été faussés en service. Mais, nous dit-on, sous l'influence de quels chocs ont eu lieu ces accidents? Nous dit-on si, pour les essieux en fer, la proportion de ces mêmes accidents n'est pas plus forte? Nullement, et, pour ces raisons, il nous semble que les faits exposés ne permettent en aucune façon de condamner l'emploi de l'acier à la fabrication des essieux de wagons.

Mais voyons si nous trouverons la raison de cette condamnation dans les résultats des essais au mouton faits sur les essieux en acier et sur les essieux en fer. Et d'abord la note de M. Nozo nous apprend qu'on a éprouvé les essieux d'acier jusqu'à la même flèche de 25 centimètres que les essieux en fer. A cette flèche l'allongement des fibres est de plus de 10 p. 100. C'était beaucoup demander à l'acier; c'était lui demander une propriété qui paraît difficilement compatible avec une grande résistance et une grande dureté de surface.

Voyons ensuite ce que l'on doit rechercher dans un essai au choc pour apprécier la qualité d'un essieu.

Deux choses suivant nous : la mesure de sa roideur et la mesure de sa résistance à la rupture; en un mot, la mesure des deux qualités qui seront utiles dans le service de l'essieu. De deux essieux, celui-là sera le plus roide et par conséquent le mieux en état de résister sans déformation aux chocs qu'il pourra subir en service, qui, recevant le même mouton, tombant de la même hauteur, se courbera le moins. De deux essieux celui-là sera le plus résistant qui pourra supporter sans se rompre le choc d'un

mouton plus lourd tombant d'une hauteur donnée, ou le choc du même mouton tombant de plus haut.

Pour recevoir des essieux de dimensions données, nous voudrions imposer simplement les deux conditions suivantes : 1° l'essieu ne devra pas fléchir ou fléchir de plus d'une certaine quantité donnée sous le choc d'un mouton donné, tombant d'une hauteur donnée; 2° l'essieu ne devra pas se rompre sous un autre choc beaucoup plus fort dont les deux éléments seraient également déterminés.

Eh bien! ces deux essais-là, je puis l'affirmer pour l'avoir vu bien des fois, les essieux d'acier y réussissent bien mieux que ceux en fer. Je ne puis citer des chiffres, mais j'ai vu le même mouton tombant de la même hauteur, produire sur les meilleurs essieux en fer plusieurs centimètres de flèche, alors que sur les essieux d'acier il rebondissait à une grande hauteur sans avoir sensiblement courbé la pièce.

J'ai vu aussi bien des fois des essieux en acier dont l'essai devait être abandonné, parce que le plus lourd des moutons disponibles, élevé tout au haut de l'appareil d'épreuve, était retombé plusieurs fois sur l'essieu sans en amener la rupture, et cela non pas comme je voudrais le voir faire sur un essieu neuf, mais bien sur un essieu qui avait reçu jusqu'à 80 et même 100 coups de mouton dans tous les sens.

Quant à cet essai qui consiste à plier et redresser successivement jusqu'à rupture un même essieu, à compter les coups et les kilogrammètres correspondants, nous ne pensons pas qu'ils puissent en aucune façon servir à comparer la qualité de deux essieux. L'essieu une fois courbé n'est plus l'essieu qu'il s'agit de juger; il se présente là des questions fort complexes de dispositions des fibres qui sont étrangères à la qualité de l'essieu, aux services qu'il pourra rendre. De plus, une bonne partie et une partie qui peut varier d'un essai à l'autre de ces kilogrammètres que l'on enregistre avec tant de soin, sont absorbées non pas par le travail des actions intérieures du métal, mais bien par les vibrations des points d'appui. Enfin, comme on l'a dit fort justement, le choix du poids du mouton et la hauteur de chute influent beaucoup sur le résultat de cette comparaison, à tel point que passant à la limite, si on frappait les deux essieux d'un très-petit marteau inoffensif, on arriverait certainement à accumuler sur chacun d'eux des nombres égaux et très-considérables de kilogrammètres dont la comparaison ne prouverait rien.

En résumé, il semble démontré que les tableaux d'essais présentés dans le mémoire ne sont pas succeptibles d'éclairer suffisamment la question.

Je ne parlerai pas des bandages de roues et des pièces d'appareils de la voie. C'est par milliers de tonnes que ces produits se fabriquent en France. La question peut être considérée comme jugée. Il y a telles machines qui seraient impossibles sans bandages d'acier; il y a tel point des gares fréquentées où l'on aurait peine à se passer de pointes de croisement en acier.

La question des tôles de chaudières, qui n'est pas abordée dans le mémoire, est presque aussi avancée. La marine militaire, les Messageries impériales ont construit un grand nombre de ces chaudières. Plusieurs ont fait avec succès des traversées transatlantiques. On a fabriqué en France plus de 3,000,000 de kilogrammes de tôle d'acier.

Le Ministre des travaux publics, après avoir, dans une enquête minutieuse, examiné les résultats obtenus par nombre de nos constructeurs pendant des essais de quatre années sur les tôles d'acier fondu, a autorisé les constructeurs à employer ces tôles avec des épaisseurs moitié moindres que pour les tôles de fer.

Dans l'une des plus grandes forges de France on peut voir fonctionner des engrenages de laminoirs en acier fondu, des embrayages en acier fondu, des cages de laminoirs en acier fondu. Or, ces pièces supportent des chocs énormes. Ainsi des fabricants d'acier, bien autorisés pour juger ces sortes de questions, ont trouvé bon de consacrer des centaines de mille francs à remplacer la fonte et le fer par l'acier fondu, et, remarquons-le, par l'acier non forgé, la forme des pièces se prêtant mal au travail sous le marteau.

Par ces divers exemples d'application nous croyons avoir établi que les faits présentés par M. Nozo ne sont pas de nature à détourner les constructeurs de l'emploi de l'acier; que ce métal, tel que l'industrie nous le livre, présente sur le fer des avantages de résistance et d'élasticité, et qu'il convient de l'appliquer soit pour supporter des efforts permanents, soit pour résister à des chocs chaque fois que l'on aura intérêt à obtenir une réduction de poids ou une sécurité plus grande, chaque fois qu'il ne s'agira pas de pièces dans lesquelles la conservation de la forme serait sans importance.

Nous n'avons pu, à notre grand regret, citer des faits isolés avec la précision qui caractérise les précédentes communications; mais nous croyons que la pratique journalière vaut mieux encore, et qu'il suffit de constater, en regardant autour de soi dans l'industrie, que l'introduction de l'acier dans la construction mécanique est aujourd'hui un fait consommé, que son emploi sera bientôt dans les habitudes de chacun, et qu'on s'étonnera alors des craintes qu'ont pu suggérer quelques premiers essais mal réussis.

Il nous reste, pour remplir notre programme, à examiner l'objection tirée de la variété des espèces d'acier livrées par l'industrie. Cette variété n'est pas spéciale à l'acier : il y a presque autant d'écart entre les propriétés du fer servant à fabriquer les rails dits rails d'Amérique dans le pays de Galles, et celles du fer au bois d'Audincourt ou de Clavières, ou du fer de Bowling et de Lowmoor, qu'il peut y en avoir entre le plus mauvais des aciers puddlés et l'acier pour outils de cémentation fondu le plus raffiné.

Il suffit de parcourir le volume de M. Kirkaldy pour se convaincre que

les écarts de qualité ne sont pas plus grands dans l'acier que dans le fer.

Les autres matières employées en industrie sont aussi dans le même cas; nous avons bien des qualités de cuivre, bien des qualités d'étain, bien des qualités de bois. Et nul n'a songé à se plaindre de cette diversité, qui met au contraire à la disposition du constructeur des matériaux dont les propriétés et les prix conviennent mieux à l'usage spécial qu'il en veut faire.

Mais comment s'y prend l'ingénieur pour profiter le plus avantageusement de cette diversité? Il étudie les propriétés des matières qu'il doit employer, il se familiarise avec leur variation, il apprend à mettre en regard de chaque application la provenance et le mode de fabrication qui y conviennent le mieux. Il nous reste à faire, ou du moins à parfaire, cette sorte d'éducation à l'égard de l'acier, qui est une matière relativement nouvelle, et je pense que le moyen d'arriver à un succès qui paraît certain, c'est non pas de se laisser effrayer dès l'abord par quelques difficultés d'emploi, mais bien de chercher à nous instruire par l'expérience pratique de tout ce qui intéresse les diverses variétés d'acier et les emplois auxquels elles conviennent.

CHEMIN DE FER

DE

. . . . . .

PREMIÈRE PARTIE.

§ 1. Comparaison entre un profil à inclinaisons de 15 m/m et un profil à inclinaisons de 25 m/m pour la traversée des.. Quelle est l'importance du Trafic à partir duquel se produisent les avantages du profil à faible inclinaison ?

DEUXIÈME PARTIE.

§ 2. De l'emploi des rails en acier sur les rampes de 25 m/m, considéré comme moyen de simplification du service et d'économie de la traction.

PAR **M. EUGÈNE FLACHAT.**

PREMIÈRE PARTIE.

SOMMAIRE.

1° EXPOSÉ. Projets comparés. Deux tracés étaient possibles : 1° le tracé en exécution par rampe de 15 m/m ; 2° un tracé par rampe de 25 m/m. Hauteur du faîte. Longueur des deux tracés.

2° DÉPENSES COMPARATIVES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT DES DEUX PROJETS.

3° RECETTES COMPARATIVES DANS LES DEUX PROJETS. Répartition kilométrique des recettes d'exploitation, et de l'économie de construction sur chacun des tracés. Cas d'une recette kilométrique de 40,000 fr. Cas

d'une recette kilométrique de 70,000 fr. Répartition kilométrique des dépenses de l'exploitation dans la comparaison des deux tracés.

4° Calcul de l'effort de traction a développer pour chacun des deux profils. Choix d'une locomotive. Rampe de 15 m/m. Effort de traction. Trains de voyageurs. Trains de marchandises. Rampe de 25 m/m. Effort de traction. Trains de voyageurs, trains de marchandises.

5° Hypothèse d'une traction sur rails en acier.

6° Importance des transports a effectuer. Poids de l'unité kilométrique, voyageurs et marchandises. Poids brut transporté correspondant au revenu kilométrique ; nombre de trains correspondant au mouvement kilométrique des unités de trafic.

7° Application des conditions ci-dessus a la détermination des prix de traction avec rampe de 15 m/m et avec rampe de 25 m/m. Dépenses comparatives de l'exploitation des deux tracés. Dépenses d'exploitation par train et par kilomètre, sur rampes de 15 et de 25 m/m.

8° Application du prix de traction a la détermination du chiffre de recettes kilométriques auquel le premier tracé a rampe de 15 m/m doit être préféré au second tracé a rampe de 25 m/m. Première hypothèse. Trafic produisant une recette brute de 40,000 fr. par kilomètre : l'avantage est ici en faveur du tracé par rampe de 25 m/m. Deuxième hypothèse. Trafic produisant une recette brute de 85,000 fr. par kilomètre : les deux tracés sont dans des conditions égales. *Exploitation sur rails en acier.* Hypothèse d'un trafic donnant 40,000 fr. de recette brute par kilomètre : l'avantage est en faveur du tracé par rampe de 25 m/m. Hypothèse d'une recette brute de 85,000 fr. par kilomètre : l'avantage est encore en faveur du tracé par rampes de 25 m/m. Mais à partir de 96,000 fr. de recette brute, il y a égalité de produit net entre les deux tracés.

1° exposé.

Le chemin de fer du . . . . . est une ligne de premier ordre, appelée à desservir un trafic considérable en hommes et en marchandises.

Il doit être et il est construit dans des conditions qui lui permettent de s'assimiler tous les progrès à attendre de l'avenir, en vitesse de marche et en économie de traction.

Sa longueur, de la capitale à la frontière de . . . , est de 638 kilomètres. Il traverse dans son cours, deux chaînes de montagnes, le. . . . et les . . . . . On peut le diviser ainsi en cinq sections, à savoir, trois sections de plaines, plateaux et vallées, et deux sections de montagnes.

La traversée de la chaîne du . . . . . a 68 kilomètres. La hauteur moyenne à franchir est de 385 mètres : c'est une inclinaison moyenne

de 0m04135, dont le maximum est de 15 millimètres. Le rayon minimum des courbes est de 400 mètres.

La traversée des . . . . . est de 46 kilomètres; la hauteur à franchir est de 463 mètres que gravit une rampe de 15 millimètres ayant 31 kilomètres de longueur. Le rayon minimum des courbes est de 300 mètres. Le tableau suivant donne du tracé une idée suffisante pour faire comprendre le côté général de la question que nous voulons examiner.

DÉSIGNATION.	SECTIONS de plaine, plateaux, faîtes moyens et vallées.			SECTIONS de montagnes.		
	LONGUEUR.	INCLINAISONS maxima.	COURBES maxima.	LONGUEUR.	INCLINAISONS maxima.	COURBES minima.
	kilomètres.	millimètres.	mètres.	kilomètres.	millimètres.	mètres.
De ..... à	50	6	600	»	»	»
De ..... à	»	»	»	68	15	400
D' ..... à	414	10	500	»	»	»
D' ..... à	»	»	»	46	15	300
De ..... à	68	8	400	»	»	»
	524k			114k		
	638 kilomètres.					

Un de nos ingénieurs, celui qui, autant par l'importance des travaux qu'il a exécutés, que par la largeur des vues qu'il apporte dans les questions de chemins de fer, s'est depuis longues années placé au premier rang, visitant la traversée des . . . . . , a exprimé dans les termes suivants une opinion qui, dans sa bouche, a une haute signification.

« En voyant ces immenses travaux, nous n'avons pu nous empêcher de regretter que des conditions de pentes aussi rigoureuses aient été imposées à la Compagnie par son cahier des charges.

« On a voulu franchir les . . . . . avec des rampes et des pentes s'élevant au maximum à 0m,015 : c'est un beau résultat, facile à obtenir sur le papier, mais difficile à réaliser sur le terrain; en France, le gouvernement, plus intelligent et ayant peut-être aussi, il faut le dire, une plus grande expérience des travaux de ce genre, a admis, dans nos pays de montagnes, des inclinaisons de 0m,020 à 0m,025, et quelquefois même de 0m,030 par mètre, et tout le monde, Gouvernement, Public et Compagnies, s'en est bien trouvé.

« Si des conditions de pentes aussi rigoureuses que celles des cahiers des charges . . . . . nous avaient été imposées, il est probable qu'une

partie des chemins en pays de montagnes, qui sont aujourd'hui exécutés ou qui s'exécutent encore en ce moment, n'aurait jamais vu le jour.

« En se plaçant sur le côté de la vallée opposé à celui sur lequel le chemin de fer est situé, peut-être aurait-on pu, avec des rampes de $0^m,020$ et $0^m,025$, éviter en grande partie les difficultés que présente le tracé actuel. »

Nous avons voulu approfondir ces vues et en déterminer les conséquences : c'est l'objet de cette étude; mais ce serait lui donner une importance qu'elle n'a pas que d'attacher à sa conclusion un sens absolu. Les circonstances spéciales ont, toujours en pareil cas, la plus grande part dans la solution adoptée par l'ingénieur. Nous avons voulu seulement planter les jalons d'une direction d'étude dans des circonstances analogues à celle-ci.

La conclusion à laquelle nous avons été conduit, c'est que jusqu'au jour où la traversée des . . . . . produira, en recette brute, 90,000 fr. par kilomètre, un tracé à inclinaisons de 25 millimètres eût été préférable à celui qui est exécuté avec des inclinaisons de 15 millimètres.

Il est peut-être utile de faire remarquer qu'une exploitation sur inclinaisons de 25 millimètres existe déjà sur la grande ligne de Vienne à Trieste, au passage des alpes Noriques (Semmering), et qu'en conséquence il n'y a rien de nouveau dans les faits techniques qui sont la base de la comparaison que cette étude a pour objet.

Deux tracés étaient possibles. 1° *Le tracé actuel par rampes de* 15 *millimètres.* 2° *Un tracé par rampes de* 25 *millimètres.* Le chemin de fer du . . . . . aurait pu franchir les . . . . . par deux tracés d'inclinaisons différentes sans rien changer aux dispositions du matériel roulant.

L'un, le tracé actuellement en exécution, qui gravit le versant Nord par des inclinaisons de 15 millimètres; l'autre, qui a été l'objet d'études sommaires, et qui aurait pu gravir ce même versant par des inclinaisons de 25 millimètres.

Les motifs pour lesquels le tracé actuel a été préféré, ne sont pas puisés dans l'intérêt d'une solution exclusivement et immédiatement économique, et notre but n'est pas d'établir que l'économie immédiate doive, en pareille circonstance, l'emporter exclusivement sur toutes les autres considérations. Notre but est, au contraire, de nous rendre compte de l'influence que l'avenir du développement du trafic doit exercer sur la constitution d'entreprises destinées à desservir, pendant une longue période de temps, une circulation d'hommes et de choses qui tendra d'autant plus à s'accroître qu'elle intéresse un plus vaste territoire, et des relations imposées à la fois par des intérêts industriels, par ceux de la production territoriale, par ceux enfin de la défense du pays.

Le tracé actuel de la traversée des . . . . . gravit le faîte du côté du versant Nord, par des inclinaisons de 15 millimètres entre. .

. . . . . et . . . . . Sa longueur est, sur ce versant, de 35 kilomètres. Il descend, sur le versant du Midi, d' . . . . . à . . . . . , par des inclinaisons de 10 millimètres, et sa longueur, sur ce versant, est de 10 kilomètres.

Il en résulte que dans le profil actuel, comme dans l'hypothèse d'un profil à inclinaisons de 25 millimètres, le tracé du chemin de fer sur le versant du Midi, serait identique. Nous n'avons donc pas à nous en occuper.

Les deux tracés à comparer ne gravissent pas le versant du Nord par la même direction. Le tracé actuel se dirige de . . . . . à . . . . . par . . . . . et . . . . , l'autre se fût dirigé sur . . . . . par . . . . . et . . . . .

Hauteur du faîte. Longueur des deux tracés. Le sommet du faîte, à la sortie Nord du souterrain, est au-dessus du niveau de la mer de 610m,25

La station de . . . . . est à. 147m,25

La différence de. 463m,00

est rachetée, dans le tracé actuel, par 31 kilomètres de rampes de 15 millimètres, et la longueur totale de ce tracé est de 35 kilomètres.

Dans l'hypothèse d'un profil à inclinaisons de 25 millimètres, la différence de niveau eût exigé 18k,5 de rampes de 25 millimètres; et, par suite de la disposition des lieux, la longueur du tracé eût été de 20 kilomètres.

C'est donc un tracé de 35 kilomètres de longueur, avec rampes de 15 millimètres, qui s'exécute en ce moment, et que nous allons comparer avec un tracé de 20 kilomètres avec rampes de 25 millimètres, qui eût pu être exécuté.

Cette comparaison doit porter sur tous les éléments de la dépense et du revenu, à savoir, sur les intérêts du capital d'établissement, et sur le produit net de l'exploitation dans les deux hypothèses.

2° DÉPENSES COMPARATIVES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT DES DEUX PROJETS.

La dépense d'établissement du tracé actuel, la voie, le matériel, et les frais généraux compris, est comptée à 1,015,000 francs par kilomètre, soit pour 35 kilomètres en construction. . . . . 35,525,000 fr.

La dépense d'établissement du tracé par . . . . . et . . . . . (rampe de 25 millimètres), doit être comptée également à 1,015,000 francs par kilomètre, soit pour 20 kilomètres. . . . . 20,300,000 fr.

Différence dans la dépense d'établissement des deux tracés. . . . . 15,225,000 fr.

On pourra éprouver quelque surprise que nous portions au même

chiffre la dépense d'établissement par kilomètre de deux tracés d'inclinaisons différentes.

Dans la traversée des montagnes, le profil qui se rapproche le plus du thalweg des vallées d'accès aux cols affecte toujours la plus forte inclinaison. C'est aussi celui qui se rapproche le plus de la ligne droite, et qui néanmoins rencontre le sol le moins accidenté. C'est pour cela que le tracé des premiers chemins faits par les hommes ou par les animaux suit le fond des vallées, tant que l'inclinaison du thalweg le permet.

Plus un tracé est élevé sur le versant d'une montagne, plus il rencontre de désordre dans la configuration du sol; les souterrains, les viaducs ou les remblais se succèdent, malgré les courbes qu'il subit pour affaiblir l'importance de ces travaux. Mais s'il peut se poser sur les alluvions du fond de la vallée, il reste pour ainsi dire étranger aux grandes perturbations naturelles du sol qui l'environne.

Nous n'avons donc fait la concession qui précède que pour ne pas laisser d'incertitude en introduisant dans nos comparaisons un chiffre hypothétique.

Nous avons également cédé en ceci à des considérations techniques, motivées par les circonstances locales. Le fond de la vallée dont il aurait fallu se rapprocher est composé d'un mélange de détritus argileux et de terres meubles dont le talus naturel tend, sous l'influence des pluies, à se rapprocher de celui des terres fluides. Ce terrain repose en outre sur des plans inclinés, qui deviennent, par suite des infiltrations des eaux pluviales, des plans de glissement. Sans aucun doute, cette nature d'obstacles est d'autant moins à craindre que le tracé est plus à fleur du sol, ce qui a lieu quand l'inclinaison du profil est la même que celle du thalweg de la vallée. Mais ce n'eût pas été ici le cas, l'inclinaison du thalweg étant de beaucoup supérieure à 25 millimètres. Le tracé eût donc été, dans ce cas comme dans l'autre, porté sur les versants, et bien qu'à une moindre hauteur que le tracé de 15 millimètres, il eût encore rencontré une partie des obstacles que ce dernier est obligé de surmonter.

Enfin, il y a une part à faire à l'accroissement de solidité de la voie, qui même avec l'emploi du matériel ordinaire, doit être d'autant plus résistante que la rampe est plus forte.

En partant du même coût kilométrique, la différence, ou si on veut, l'économie dans les frais d'établissement du tracé par rampe de 25 millimètres, sur le tracé par rampe de 15 millimètres en exécution, eût donc été de 15,225,000 francs, ce qui, au taux d'intérêt et d'amortissement de 6 p. 100, constitue une somme annuelle de 913,500 fr. dont est grevé le tracé actuel.

Mais comme ce tracé a 15 kilomètres de longueur de plus, sur lesquels les tarifs sont perçus comme sur le reste du chemin; comme d'un autre côté l'exploitation sera moins coûteuse sur un profil à inclinaison de 15 millimètres qu'elle ne le serait sur une inclinaison de 25 millimètres,

l'économie sur la dépense de construction en faveur de la forte rampe n'est plus aussi apparente; elle ne peut résulter que d'un ensemble de données qu'il convient d'étudier séparément.

3° RECETTES COMPARATIVES DANS LES DEUX PROJETS.

Répartition kilométrique des recettes d'exploitation, et de l'économie de construction sur chacun des tracés. De ce que les tarifs étant appliqués à la distance, la recette s'opère, dans le premier tracé, par rampes de 15 millimètres, sur 35 kilomètres, tandis que dans le second cas, celui du tracé par rampe de 25 millimètres, la recette ne s'opérerait que sur 20 kilomètres, on déduit le rapport comparatif des recettes sur les deux tracés; et nous ferons entrer, en conséquence, dans la comparaison, une recette sur 1,750 mètres par le tracé à rampe de 15 millimètres, contre une recette sur 1,000 mètres par le tracé à rampe de 25 millimètres [1].

Mais si, au point de vue des produits bruts, il faut comparer la recette à faire sur 1,750 mètres du tracé par rampe de 15 millimètres, à celle à attendre de 1,000 mètres sur le tracé à rampe de 25 millimètres, il faut, par contre, allouer en recette aux 20 kilomètres par rampe de 25 millimètres, en sus de leur recette propre, l'économie annuelle de 913,500 fr., qui est faite sur la construction, c'est-à-dire $\frac{913\,500}{20} = 45{,}675$ francs par kilomètre.

Le calcul est ici trop absolu en faveur de la faible rampe, car toute augmentation du prix de transport éloigne une certaine part du trafic, et en conséquence tout allongement du chemin tend à éloigner le trafic, si le tarif est perçu proportionnellement à la distance. Nous ne nous sommes cependant pas arrêté à cette considération pour ne rien admettre de vague dans nos appréciations.

Cas d'une recette kilométrique de 40,000 *francs.* Soit, par exemple, le revenu kilométrique de 40,000 francs, il faudra comparer ce revenu recueilli sur 1,750 mètres (rampe de 15 millimètres), c'est-à-dire $40{,}000 \times 1{,}750 = 70{,}000$ francs, au revenu sur 1 kilomètre (rampe de 25 millim.), soit. . . . . 40,000 fr.

augmenté de $\frac{913.500}{20}$ 45,675

Total. . . . . 85,675 fr.

De telle sorte que, toutes choses égales d'ailleurs, le tracé par rampe de 25 millimètres aura sur l'autre, par le fait seul de l'économie d'établissement, un avantage par kilomètre de 45,675 francs.

Cas d'une recette kilométrique de 70,000 *francs.* Si la recette par kilo-

1. 20 : 35 :: 1000 : 1750.

mètre est de 70,000 francs, il reviendra au tracé de 35 kilomètres par rampe de 15 millimètres, comparé au tracé de 20 kilomètres par rampe de 25 millimètres, 70,000 × 1,750 = ... 122.500 fr.
et au tracé par rampe de 25 millimètres, 70,000+45,675= 115,675

L'avantage, quant aux dépenses d'établissement comparées au revenu brut, sera cette fois en faveur du tracé de 35 kilomètres sur celui de 20 kilomètres, et par kilomètre de. . . . 6,825 fr.

En effet, au moment où le revenu kilométrique, augmenté dans le rapport des longueurs, serait égal au revenu kilométrique augmenté de l'intérêt de l'économie sur la construction du tracé le plus court, le choix entre les deux tracés deviendrait indifférent s'il n'y avait pas lieu de tenir compte des frais d'exploitation.

La formule qui donne le chiffre de la recette kilométrique pour laquelle il y a égalité entre les deux tracés de 15 m/m et de 25 m/m, en ne faisant intervenir que l'intérêt de l'argent et la différence des longueurs, est x : 0,75 = 45675, d'où $x = 60,900$ fr., c'est-à-dire que la recette kilométrique à partir de laquelle le tracé à 15 m/m serait le plus avantageux est de 60,900 fr.

Ainsi l'avantage cesserait pour la plus forte rampe, quand le produit net par kilomètre serait $\frac{45675}{0,750} = 60,900$ fr.

La proposition qui précède serait encore vraie si les dépenses d'exploitation étaient égales dans les deux cas.

Rappelons cependant que, toutes choses égales d'ailleurs, le trafic sera plus considérable sur un chemin de 20 kilomètres que sur un chemin de 35 kilomètres, le mouvement étant en raison de l'abaissement du prix de transport.

Nous verrons plus loin comment les dépenses d'exploitation modifient ces résultats, mais il est facile de reconnaître qu'à mesure que le revenu kilométrique s'élève, l'avantage tend à se porter sur le tracé par faibles inclinaisons.

Cette conséquence était facile à prévoir; elle s'explique par l'action combinée de la différence des parcours, de l'égalité des tarifs, quelles que soient les inclinaisons et du coût comparatif de la construction et de l'exploitation.

Examinons maintenant comment les dépenses d'exploitation doivent entrer dans la comparaison qui nous occupe.

Répartition kilométrique des dépenses d'exploitation dans la comparaison des deux tracés. La conséquence de la différence de longueur des deux tracés est que, dans le cas du tracé par rampe de 15 millimètres, les dépenses d'exploitation s'appliquent, comme les recettes, à une étendue de 1,750 mètres, et à un kilomètre seulement du tracé par rampe de 25 millimètres.

Pour établir la dépense d'exploitation, il faut d'abord déterminer l'importance du mouvement qui correspond à un revenu donné, et la manière de desservir ce mouvement sur la rampe de 15 millimètres et sur celle de 25 millimètres. En outre, et pour partir de données aussi exactes que possible, il faut supposer, dans les deux cas, le mouvement desservi par les machines les mieux appropriées au service des rampes et au matériel roulant.

4° CALCUL DE L'EFFORT DE TRACTION A DÉVELOPPER POUR CHACUN DES DEUX PROFILS. — CHOIX D'UNE LOCOMOTIVE. — RAMPES DE 15 MILLIMÈTRES.

Traction. Trains de voyageurs. Nous avons adopté les bases suivantes : Sur la rampe de 15 millimètres, la machine doit être assez puissante pour remorquer, sans besoin de renfort, un train de 22 voitures de voyageurs, pesant 209 tonnes, soit $9^t,5$ par voiture; l'effort de traction sera, dans ce cas, à la vitesse de 25 kilomètres, de $15^k + 6^k,25$ [1], soit :

$21^k,25 \times 209$ tonnes = ...	4,444 kilog.
auquel il faut ajouter l'effort qu'exige la machine pour son propre poids ($57^t,6 \times 21^k,25$) = ...	1,224
Total de l'effort de traction.	5,665 kilog.

Un train de voyageurs de 22 voitures n'est pas un train ordinaire; il se présentera rarement dans les jours d'hiver; mais, dans la saison des voyages, il pourra se présenter souvent, et, pour partir de la base la plus large, nous devons admettre que ni l'influence d'une rampe de 15 millimètres, ni celle d'une rampe de 25 millimètres, ne doivent conduire, soit

1. En faisant une part de $6^k,25$ aux diverses résistances que le train oppose à l'effort de la machine, nous allouons plus de 2^k pour la résistance de l'air, qui, à la vitesse de 25 kil. par heure, n'influe d'une manière sensible, sur la marche du train, que dans le cas d'un état exceptionnel de l'atmosphère. Nous n'avons pas tenu compte au delà de 2 kilog. de la résistance dans les courbes, parce qu'elles sont habituellement franchies par la vitesse acquise dans les alignements; qu'elles existeraient sur les deux tracés et qu'elles sont plus nombreuses sur la faible inclinaison que sur la forte rampe. Les ingénieurs anglais comptent, d'une manière empirique, un accroissement d'un pour cent de l'effort de traction par chaque degré de la courbe occupée par le train. Ils portent l'ensemble des résistances dues aux courbes de faibles rayons et à un vent très-violent à 50 0/0 de la résistance due aux autres causes. C'est très-exagéré. M. Forquenot a fait des expériences qui se rapportent exactement aux exemples cités ici. Il a mesuré l'effort de traction de trains de 42 wagons marchant à la vitesse de 23 kilomètres. L'effort de traction pour le train a été, avec le graissage à l'huile, de 3 kilog. 92 par tonne. Il compte l'effort spécial à la machine à 6 kilog. par tonne. Un train de 20 wagons de houille pesant, machine comprise, 257 tonnes, lui a donné, sur rampe de 15 $^m/_m$, et dans les courbes de 300 mètres, un effort supplémentaire, attribuable à la courbe de 3 kilog. 90 par tonne.

à une réduction dans la charge des trains sur les autres parties de la ligne, soit à une division des trains au pied de la rampe.

L'effort de traction nécessaire étant connu, il s'agit de choisir dans le matériel des chemins de fer la machine qui peut le produire.

Il faut pour produire un effort de traction donné :

1° Une surface de chauffe suffisante pour maintenir cet effort aux vitesses exigées par le service;

2° Un poids adhérent suffisant pour que la résistance au glissement produite à la circonférence des roues ne permette pas le patinage.

Nous partons dans cette étude des bases suivantes que nous avons justifiées ailleurs :

Un mètre carré de surface de chauffe peut maintenir, à la vitesse de 25 kilomètres, un effort de traction de 40 kilogrammes.

Le poids servant à l'adhérence ne doit pas, dans nos climats, descendre au-dessous de $6^k,5$ pour 1 kilogramme d'effort de traction, et il convient de se tenir au-dessus pour le service des voyageurs.

Nous sommes enfin autorisé à admettre que l'état climatérique est, dans la traversée des . . . . . , plus favorable à l'adhérence que celui du Nord de la France; cela s'explique par la latitude et par le peu de hauteur du col (610 mètres) au-dessus du niveau de la mer [1].

D'après ces bases, la machine qui enlèvera le train de 209 tonnes sur la rampe de 15 millimètres à une vitesse de 25 kilomètres à l'heure, sera le type du Nord à 6 essieux couplés par groupe de trois : à 4 cylindres, et dont le poids moyen est de 54 tonnes.

La surface de chauffe de cette machine (209 m.c.) permet un effort de traction de 8,360 kilogrammes, correspondant à 40 kil. par mètre carré tandis qu'il ne lui serait demandé ici qu'un effort de 5,665 kil., correspondant à 27 kil. par mètre carré de cette surface.

Le poids servant à l'adhérence sera, proportionnellement à la résistance, de $9^k,6$ pour 1 kil. d'effort de traction ($54,000^k/5,665^k$). Il pourrait n'être que de $6^k,5$ pour 1 kil. d'effort de traction, car c'est la proportion admise au Semmering sous l'influence d'un climat bien autrement brumeux.

Une semblable machine ne nécessiterait pas le concours d'une machine de renfort; cependant, pour nous placer en dehors de toute éventualité, nous admettons l'existence d'un dépôt au bas de la rampe, et un parcours, par la machine de renfort, d'un huitième de la circulation des trains de voyageurs.

Trains de marchandises. Dans le service des marchandises, un train de 400 tonnes se présentant au pied de la rampe de 15 millimètres, pour la gravir, exigera un effort de traction de $400 \times 21,25 = 8,500$ kilogr., et

1. Le point le plus élevé du Semmering est à 892 mètres au-dessus du niveau de la mer à Trieste, et l'adhérence y est employée à 6 kil. 6 pour un kilog. d'effort de traction.

sans tenir compte des courbes de faible rayon, 400 tonnes × 19k,25 (15 + 4,25) = 7,700 kilogr.

L'effort de 8,500 kilogrammes est celui que peut exercer la machine du Nord. Le poids, servant à l'adhérence, étant supposé de 6k,35 pour 1 kil. d'effort de traction, 54,000/8,500; mais comme la machine exige pour elle-même un effort de traction de 1,225 kilogr., il ne reste plus disponible, pour remorquer le train, que 7,275 kilogr., correspondant à la traction d'un train de 342 tonnes. Dans le second cas, celui de l'effort calculé à 19k,25, il resterait disponible, pour le train, 7,900 kilogrammes, correspondant à 385 tonnes.

Des trains de 400 tonnes se présenteront rarement, surtout dans la direction du Nord au Sud, qui est la seule où existe la rampe de 15 millimètres. La moitié de la circulation, dans le sens du plus grand mouvement, ne nécessitera donc que l'usage des freins. Cependant comme, dans le cas de trains de 400 tonnes, la limite de la puissance de la machine est plus rapprochée que d'ordinaire de la résistance que lui oppose le train, il faut faire une part plus forte que dans le cas précédent à la machine de renfort.

Nous avons donc admis, pour le parcours de cette machine, un cinquième de la circulation des trains de marchandises sur la rampe de 15 millimètres.

Cette part d'un cinquième exprime en réalité toute autre chose qu'un renfort appliqué au cinquième des trains. Nous avons vu que les trains venant du Sud n'auront qu'à descendre la rampe de 15 millimètres; ce sont donc les seuls trains venant du Nord et dépassant 350 tonnes qui pourront réclamer l'assistance de la machine de renfort. En admettant un sur cinq, cela ne constituerait que le dixième de la circulation *en charge*. Mais comme la machine de renfort devra redescendre la rampe, nous avons dû supposer pour elle le cinquième de la circulation totale.

Rampe de 25 millim. — Traction.

Trains de voyageurs. Sur la rampe de 25 millimètres, nous avons supposé l'emploi de la même machine à 6 essieux couplés par trois, type du Nord.

Le train de voyageurs de 22 voitures, pesant 209 tonnes, exigera un effort de traction de (25 + 6k,25) = 31k,25 × 209 tonnes. . 6,530 kilog.
plus celui de la machine pour son propre poids, 57'6 ×
31k,25 = ... 1,800

Soit un effort de traction total de. . . . . 8,330 kilog.

Cet effort correspond à la puissance de la machine en ne lui laissant, comme poids servant à l'adhérence, que 6k,4 pour 1 kil. d'effort de traction. Or il convient de se ménager, pour les trains de voyageurs, un poids

adhérent d'environ 8 kilogrammes pour 1 kilogr. d'effort de traction. La machine de renfort serait donc nécessaire pour tous les trains s'ils étaient composés de 22 voitures; mais il n'en sera pas ainsi quel que soit le produit brut du chemin.

Nous ferons la part la plus large en supposant que le parcours de la machine de renfort sera du tiers de la circulation totale des trains, en rappelant l'observation que nous avons faite plus haut, que le mouvement sur le Midi sera en descente sur le versant Nord.

Trains de marchandises. Un train de marchandises de 400 tonnes exigerait, sur la rampe de 25 millimètres, un effort de traction de $400 \times 31^{k},25 = 12,500$ kilogrammes.

Nous avons vu que la machine à 6 essieux couplés par trois dispose, à $6^{k},5$ de poids adhérent pour 1 kilogr. d'effort de traction, d'un effort de traction de $\left(\frac{54,000}{6,5}\right) = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ 8,300 kil.[1]

dont à déduire l'effort appliqué au propre poids de la machine $(57,6 \times 31^{k},25) = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ 1,800

reste disponible pour le train. . . . . 6,500 kil.

Deux machines donneront donc un effort de traction applicable au train, de 13,220 kilogrammes.

Les trains de 400 tonnes ne devront se présenter que rarement, même dans le cas d'un produit kilométrique très-élevé, nous supposerons cependant ici, pour la machine de renfort, un parcours des deux tiers de la totalité des trains.

5° Hypothèse d'une traction sur rails en acier. Dans les données qui précèdent sur le service de traction des trains sur rampes de 15 et de 25 millimètres, nous sommes parti des relations ordinaires entre le poids des machines et la solidité de la voie.

Il est presque inutile de faire remarquer l'extrême simplification qui résulterait de l'application des vues que nous avons émises ailleurs sur la nécessité de mettre la voie en relation avec l'effort de traction, en combinant la solidité de celle-ci avec la puissance des machines.

Nous donnant, pour condition expresse du système d'exploitation d'un passage de montagne, que les rampes doivent être franchies par les machines *sans division des trains*, nous avons fait correspondre aux divers efforts de traction une certaine puissance de machine qui ne peut être à présent obtenue qu'au moyen de l'emploi partiel de machines de renfort et nous avons adopté les données suivantes :

1. Cet effort mesuré sur la surface de chauffe est égal à 40 kil. par mètre carré; on compte 46 kil. au Semmering.

RAMPES.	TRAINS.	EFFORT de traction.	POIDS servant à l'adhérence.	PROPORTION de l'emploi de la machine de renfort	NOMBRE d'essieux de la machine.	POIDS de la machine par essieu.
millimètres.		kilogrammes.	kilogrammes.			tonnes.
15	200t voyageurs.	5,665	54,000	+ $\frac{1}{6}$	6	9
15	400t marchandises.	8,500	54,000	+ $\frac{1}{6}$	6	9
25	200t voyageurs.	8,330	54,000	+ $\frac{1}{5}$	6	9
25	400t marchandises.	12,500	54,000	+ $\frac{2}{3}$	6	9

Dans trois cas de ce système, l'emploi de la machine de renfort est une nécessité pour les trains complets.

Mais en construisant la voie en rampe de 25 millimètres, avec des rails en acier dont la surface de roulement et la solidité seraient en proportion avec l'accroissement du poids et de la puissance des machines, on peut supprimer la machine de renfort pour les trains les plus pesants; on peut, même, mieux proportionner le poids adhérent, à l'effort de traction [1].

C'est ce qui résulte des bases suivantes :

Admettons : 1° Pour la puissance des machines, $1^{m},^{2}$ de surface de chauffe pour 36 kilogrammes d'effort de traction; 8 kilogr. de poids adhérent pour 1 kilogr. d'effort de traction. 2° Pour la voie, des rails en acier ayant, par leur surface de roulement, par leur poids et par leur hauteur, une résistance proportionnelle au poids des machines qui variera de 12 à 18 tonnes par essieu.

RAMPES.	TRAINS.	EFFORT de traction.	POIDS servant à l'adhérence.	POIDS sur chaque essieu.	NOMBRE d'essieux de la machine.	SURFACE de chauffe.	MÉTAL des rails.	POIDS des rails par mètre linéaire.
m.		kilogrammes.	kilogrammes.	tonnes.		mèt. carr.		kilogr.
15	voyageurs. 200t	5,665	45,300	10 à 12	4	190	fer.	38
15	marchandises. 400t	8,500	68,000	10 à 12	6	285		
25	voyageurs. 200t	8,330	66,500	17	4	280	acier.	32
25	marchandises. 400t	12,500	100,000	17	6	333		

Le tableau précédent donne l'application de ces bases aux efforts

1. L'usage de rails en acier conserverait encore tous ses avantages dans le cas de l'em-

de traction nécessaires pour remorquer des trains de voyageurs de 209 tonnes, et des trains à marchandises de 400 tonnes sur des inclinaisons de 15 et de 25 millimètres.

Ainsi dans l'hypothèse des rails en acier, l'exploitation pourra se faire sans machine de renfort, et la différence dans la dépense d'exploitation comparée à celle d'un chemin de niveau, sera limitée à un surcroît de dépense de combustible et d'entretien de la machine, et à l'intérêt du capital représentant l'emploi des rails en acier au lieu de fer.

Nous traduirons cette hypothèse en chiffres dans les calculs des dépenses d'exploitation qui vont suivre.

Mais nous ferons remarquer qu'en prenant pour base des systèmes d'exploitation que les trains ne doivent pas être divisés, si cela est possible, pour franchir les rampes, nous introduisons plutôt une méthode de calcul qu'une règle absolue. En effet, trois méthodes sont en usage et sont préférées par les ingénieurs qui les pratiquent. Nous n'avons nullement la prétention de les juger ici. Une Compagnie des plus puissantes a adopté, en principe, l'usage pour les fortes rampes, de deux machines, l'une en tête, l'autre en queue du train. Cette dernière est plus faible que la première. Ce procédé a pour lui la sanction de l'expérience de plus d'une année. Cette Compagnie avait reconnu les plus graves inconvénients de service à la division des trains qu'elle a pratiquée longtemps et à laquelle elle a dû renoncer.

Cela n'est d'ailleurs appliqué qu'aux trains de marchandises.

Une autre Compagnie, celle qui exploite le Semmering, a adopté le système de la division des trains. Cela lui a permis de ne pas changer les attelages, d'éviter les pertes de forces qui résultent de l'accroissement notable de l'effort de traction qu'un train long peut éprouver dans les courbes de faible rayon.

Au Semmering, chaque train est divisé au pied de la rampe, à Gloggnitz et à Mürzzuschlagg; la seconde partie part 10 minutes après la première, et la troisième suit la seconde après un intervalle nouveau de 10 minutes.

6° IMPORTANCE DES TRANSPORTS A EFFECTUER. Il convient maintenant de rapprocher l'organisation du service de traction, que nous venons de supposer sur les rampes de 15 et de 25 millimètres, de l'importance des transports à desservir. Pour cela il faut se rendre compte du mouvement qui correspond, sur un chemin de fer, à une recette donnée.

Nous prendrons pour exemple les recettes de 40,000 fr. et de 85,000 fr. par kilomètre.

ploi de deux machines, l'une en tête, l'autre en queue, pour la traction des trains pesants et longs. Ce système de traction est, nous l'expliquons plus loin, préféré par quelques ingénieurs, et l'expérience n'a pas prononcé contre lui, quant à la sécurité et à la régularité du service.

Une recette kilométrique se traduit en mouvement de transports par l'application du tarif moyen à la circulation. S'il s'agit des personnes, on trouve que les tarifs de 10 c., 7c, 5 et 5c,5, appliqués au nombre distinct des voyageurs de chaque classe, donnent un produit moyen de 6c,4 par voyageur et par kilomètre.

Le produit moyen des tarifs sur les marchandises est de 7 centimes par tonne.

Si on suppose le nombre des voyageurs à un kilomètre, égal au nombre de tonnes de marchandises à 1 kilomètre, l'unité des transports sera représentée en recette par $\frac{6^c,4 + 7^c}{2} = 6^c,7$.

Une recette de 40,000 fr. par kilomètre représentera en conséquence 597,014 de ces unités transportées sur un kilomètre.

Une recette de 85,000 francs en représentera 1,268,655.

Déterminons le poids de ces unités :

Poids de l'unité kilométrique. Voyageurs et marchandises. Quant aux personnes, la statistique constate un transport moyen de 11 voyageurs par voiture. Le poids moyen d'une voiture étant de 6,200 kilogrammes, cela donnera pour le poids brut d'un voyageur, qui lui-même pèse 70 kilog., bagages à la main compris $\frac{1}{11}(6,200^k + 770) = \frac{6,970}{11} = 633$ kil.

Pour les marchandises, il ressort également des documents statistiques, que le chargement moyen d'un wagon est de 4 tonnes; que ce wagon pèse en moyenne 4,200 kilogrammes, et que le poids brut, correspondant à une tonne de poids net en marchandises, ressort à :

$$\frac{1}{4}(4,000^k + 4,200) = \frac{8,200^k}{4} = 2,050 \text{ kil.}$$

Si donc nous prenons pour point de départ une égale circulation des personnes et des choses, ce qui se rapproche suffisamment de la vérité, l'unité kilométrique sera en poids :

$$\frac{1}{2}(633^k + 2,050) = \frac{2,683}{2} = 1,341 \text{ kilogrammes.}$$

Poids brut transporté, correspondant au revenu kilométrique. Une recette kilométrique de 40,000 francs donnera donc, en poids, un mouvement kilométrique de $597,500 \times 1^t,342 = 800,000$ tonnes.

Une recette de 85,000 fr. donnera $1,270,000 \times 1^t,341 = 1,710,000$ tonnes.

Nombre des trains correspondant au mouvement kilométrique des unités de trafic. Comment ce mouvement se répartira-t-il? C'est-à-dire en combien de trains sera-t-il divisé?

Les documents statistiques établissent qu'une recette kilométrique de 70,000 francs équivaut à un mouvement journalier de 28 trains (Lyon), soit 10,200 trains par an, et à un poids moyen de $\frac{1,400,000^t}{10,200} = 137$ tonnes

par train; et que la recette de 40,000 fr. équivaut à un mouvement journalier de 16 à 18 trains (Midi), soit 5,900 trains par an, et à un poids moyen de $\frac{800,000}{5,900}$ tonnes = 135 tonnes par train.

Nous ferons remarquer que les nombres 10,200 et 5,900 trains, fournis par la statistique, sont exactement proportionnels aux recettes kilométriques 70,000 et 40,000 francs, ce qui nous permet d'étendre à notre calcul le rapport 85,000 : 40,000, et d'admettre pour la recette kilométrique de 85,000 fr. une circulation de 12,400 trains de 135 à 137 tonnes[1].

Il ressort des chiffres qui précèdent, que l'organisation du service, prévue sur les rampes de 15 et de 25 millimètres, satisferait aux éventualités les plus larges en ce qui concerne le poids des trains qui auront à gravir ces rampes, puisqu'au lieu d'un poids moyen de 135 tonnes, nous avons supposé l'ascension, sur les rampes, de trains de 210 tonnes pour les voyageurs, et de 400 tonnes pour les marchandises.

Après avoir déterminé l'importance du mouvement des transports, il reste à établir le coût comparatif de l'exploitation des deux tracés.

7° APPLICATION DES CONDITIONS CI-DESSUS A LA DÉTERMINATION DU PRIX DE TRACTION AVEC RAMPE DE 15 MILL. ET AVEC RAMPE DE 25 MILL.

Dépenses comparatives de l'exploitation des deux tracés. Les éléments de la dépense d'exploitation en elle-même sur les rampes et en plaine devront différer pour certains chapitres.

Ce seront, par exemple, la consommation du combustible, l'entretien et le graissage des machines, l'usure des freins et le personnel pour les manœuvrer, l'entretien et la surveillance de la voie, la part de la machine de renfort, et une part d'intérêt du capital résultant de la différence de vitesse et de la différence d'étendue des parcours sur les rampes comparées.

Les éléments de dépenses qui pourront rester semblables à ceux des autres parties de la ligne, seront : les frais d'administration centrale, de mouvement (personnel, gares, etc.), les dépenses de personnel des mécaniciens et chauffeurs, et des dépôts autres que celui des machines de renfort; l'entretien et le graissage des wagons et voitures, et les frais de traction autres que ceux énoncés ci-dessus.

Dépenses d'exploitation par train et par kilomètre, sur rampes de 15 *et de* 25 *millimètres.* D'après cette distinction, nous établissons comme suit les dépenses d'exploitation par train et par kilomètre sur les rampes de 15 et de 25 millimètres, le revenu brut étant de 40,000 francs par kilomètre.

1. 70,000 : 40,000 :: 10,200 : 5,900.
   85,000 : 40,000 :: 13,400 : 5,900.

DÉPENSE PAR TRAIN A 1 KILOMÈTRE.

	Rampes de 15 mill.		Rampes de 25 mill.	
	voyageurs.	marchand.	voyageurs.	marchand.
1° *Administration centrale*.....	0f,260	0f,260	0f,260	0f,260
Ce chiffre est emprunté au chemin de fer du Midi qui, pour une recette de 38,500 fr. par kilomètre, dépense 0f,26c. Il s'abaisse sur le chemin de fer du Nord à 0f,10c, à cause de l'importance de la recette totale.				
2° *Mouvement.* Le coût de l'exploitation du chemin de fer du Midi, en dehors des services techniques, peut s'appliquer ici.....	0,954	0,954	0,954	0,954
3° *Personnel des bureaux du matériel : de la traction et des dépôts : mécaniciens et chauffeurs, nettoyage et éclairage des machines : eau et divers.*	0,295	0,295	0,295	0,295
Ce chiffre emprunté au chemin de fer du Midi, se subdivise comme suit :				
Services centraux..... 0f,023				
Mécaniciens et chauffeurs..... 0 ,163				
Dépôts (personnel)..... 0 ,040				
Graissage, éclairage, nettoyage des machines..... 0 ,043				
Eau..... 0 ,019				
Dépenses diverses aux dépôts..... 0 ,007				
0f,295				
4° *Entretien et graissage des voitures et wagons.*	0,400	0,400	0,400	0,400
Cet entretien coûte sur le chemin de fer du Midi 0f,159. Nous n'avons pas cru utile de distinguer les frais d'entretien des voitures de grande vitesse, de ceux des wagons de petite vitesse. Cela eût été bien difficile d'abord, et ensuite, sans application à la question dont l'examen nous occupe. Nous nous sommes contenté de les élever au-dessus du chiffre ordinaire, parce que le climat de..... nous paraît de nature à éprouver fortement les constructions en bois.				
A reporter.....	1,909	1,909	1,909	1,909

Report.....	1f,909	1f,909	1f,909	1f,909
5° *Combustible.*				
TRAINS DE VOYAGEURS.				
Rampe de 15 mill. en remonte, 40k de houille à 30 fr. la tonne..... 1f,20				
Descente et séjour au dépôt, 10k à 30 fr.. 0,30				
Total..... 1,50				
Dépense moyenne $\frac{1^f,50}{2}$ = ... 0,75	0,750	»	»	»
Rampe de 25 mill. en remonte, 60k de houille à 30 fr. = ... 1f,80				
Descente et séjour au dépôt 15k à 30 fr.= 0,45				
Total..... 2,25				
Dépense moyenne $\frac{2^f,25}{2}$ = ...	»	»	1,125	»
TRAINS DE MARCHANDISES.				
Rampes de 15 et de 25 mill. en remonte, 60k de houille à 30 fr. = ... 1f,80				
Descente et séjour au dépôt, 15k à 30 fr.= 0,45				
Total,..... 2,25				
Dépense moyenne $\frac{2^f,25}{2}$ = ... 1,125	»	1,125	»	1,125
Dans ce calcul les machines sont supposées travaillant au maximum de leur puissance sur les deux rampes de 15 et 25 mill., et c'est par l'emploi de la machine de renfort que la différence de dépense de combustible se manifeste.				
6° *Entretien des machines et graissage*.....	0,600	0,600	0,800	0,800
Cet entretien coûte sur le chemin de fer du Midi, 0f,193. Celui des machines Engerth coûte sur le chemin du Nord, 0f,225 et 0f,80 sur le Semmering.				
7° *Usure et personnel des freins*.....	0,124	0,124	0,250	0,250
Sur *la rampe de 15 mill.*, on suppose un frein pour cinq voitures, non compris celui de la machine et du tender; cela comprend deux gardes-freins supplémentaires accompagnant 3 trains par jour; on suppose également qu'un sabot en bois est usé en 5 descentes. On a en conséquence :				
Personnel supplémentaire de freins... 2f,33				
Usure des freins..... 2 »				
4f,33				
et pour 35k (4f,33 : 35k) = 12c,40.				
A reporter.....	3,383	3,758	4,084	4,084

Report.....	3f,383	3f,758	4f,084	4f,084
Sur *la rampe de* 25 *mill.* les freins à patins du genre Didier devraient être préférés. La dépense du personnel et celle de l'usure des bois serait double de la précédente.				
8° *Entretien et surveillance de la voie*.....	1,110	1,110	1,260	1,260
Cet entretien se partage en plusieurs chapitres de dépenses qui, sur les diverses lignes, varient entre les chiffres suivants :				
(Il n'est question ici que des grandes lignes.)				
1° Personnel du bureau de l'ingénieur principal..... Par kilomètre. 100f à 150f				
2° Personnel des sections; ingénieur et son bureau, conducteurs, piqueurs, payeurs et surveillance autre que celle des gardes..... 200 à 400				
3° Gardes de jour, de nuit et des passages à niveau et barrières. 200 à 450				
4° Main-d'œuvre du personnel permanent en chefs d'équipe et poseurs..... 750 à 900				
5° Main-d'œuvre en ouvriers supplémentaires..... 550 à 950				
6° Entretien et renouvellement du matériel fixe de la voie. Renouvellement des rails en 10 ans, y compris dépose et repose.. 750f Renouvellement des traverses en 15 ans ..... 415 Entretien et renouvellement des autres parties du matériel fixe ..... 450 — 1,615 à 1,625				
7° Entretien des travaux d'art, façon et matériaux..... 200 à 800				
8° Entretien des bâtiments et stations, etc..... 500 à 1,000				
Total..... 4,115 à 6,275				
Moyenne par kilomètre..... 5,195f				
L'établissement de rampes de 15 et de 25 mill. ne change rien aux chapitres 1, 3, 7 et 8 du compte ci-dessus, sous le rapport des frais d'entretien, mais il en doit accroître les dépenses en travaux de remaniement de la voie, d'écoulements d'eau et de surveillance; car ces rampes sont tracées dans des contrées accidentées, où les tranchées et les remblais n'ont pas l'assiette et la fixité des travaux en plaine ou sur les pla-				
A reporter.....	4,493	4,868	5,344	5,344

Report.....	4f,493	4f,868	5f,344	5f,344
teaux. Par cette raison, il y a lieu d'ajouter, pour les rampes de 15 mill., un supplément de 1,000 fr. au compte ci-dessus, et pour les rampes de 25 mill. 1,500 fr. Il y a lieu, en outre, de porter les dépenses de renouvellement des rails à 7 ans et 1/2 sur les rampes de 15 mill. et à 5 ans sur les rampes de 25 mill.; c'est, au taux de 750 fr. par an, pour dix ans, un supplément de 375 fr. dans le premier cas, et de 750 fr. dans le second.				
Il y a donc à ajouter pour l'entretien sur les rampes de	Rampes de 15mm.	25mm.		
A la moyenne du chiffre ci-dessus.....	5,195f	5,195f		
Un supplément de surveillance et de main-d'œuvre permanente ou temporaire de.....	1,000	1,500		
Et un supplément pour renouvellement des rails de.....	375	750		
Total par kilomètre de voie...	6,570f	7,445f		
Et, pour 5,900 trains, par kilomètre parcouru	1f,11	1f,26		
9° *Différence d'intérêt du capital d'acquisition du matériel roulant*, résultant 1° de la différence d'étendue du chemin; 2° de la différence de vitesse des trains, et 3° de la différence du parcours effectué.				
Le matériel roulant d'un chemin de fer donnant 40,000 fr. de recette kilométrique, peut être évalué à 60,000 fr. par kilomètre dont l'intérêt et le renouvellement doivent être comptés à 10 0/0; soit 6,000 fr. à répartir sur 5,900 trains; soit par train et par kilom. 1 fr. 02 et pour 1,750 mètres de parcours.....		1f,78c		
Sur la rampe de 25 mill. l'intérêt et l'amortissement 1 fr. 02 c. par kilom. doit être augmenté en raison inverse des vitesses qui seront de 25 kilom. à l'heure sur la rampe de 15 mill. et de 17 kilom. sur la rampe de 25 mill., ci.....		1 ,49		
La différence en faveur de la rampe de 25 mill. est.....		0 ,29		
A reporter.....	4,493	4,868	5,344	5,344

	Rampes de 15 mm.	Rampes de 25 mm.		
Report.....		4f,493	4f,868	5f,944	5f,344
Et elle est à porter en charge à la rampe de 15 mill.[1].....		0,290	0,290	»	»
10° *Part de la machine de renfort* déterminée ci-dessus.....		(1/8)	(1/8)	(1/8)	(1/8)
La dépense de la machine de renfort peut être établie comme suit :					
Personnel de traction et frais divers.....	0f,295	0f,295			
Auxquels il convient d'ajouter les frais de dépôt et le supplément de dépense du personnel résultant du faible parcours des machines de renfort.....	0,250	0,250			
Combustible.....	0,937[2]	1,125			
Supplément, pour l'attente, 250 tonnes de houille par an, à 30 fr.=7,500 fr., à répartir sur 8,000 kilom., considérés comme le parcours annuel d'une machine de renfort.....	0,940	0,940			
Entretien de la machine.....	0,600	0,900			
Supplément pour l'usure des freins.....	0,050	0,100			
Entretien et renouvellement de la voie.....	1,100	1,260			
Intérêt et renouvellement de la machine de renfort, 10 pour 100 de 80,000 fr. = 8,000 fr., à répartir sur un parcours annuel de 8,000 kilomètres.....	1,000	1,000			
Dépense par kilomètre de parcours.....	5,172	5,870			
A porter pour la machine de renfort proportionnellement aux fractions précédentes.....			0,650	1,038	1,957	3,914
Dépense par train et par kilomètre.....			5,433	6,194	7,301	9,258
Soit, en moyenne, par train et par kilomètre.			5f,814		8f,280	

1. En d'autres termes, le matériel nécessaire à l'exploitation s'accroît en raison des parcours à effectuer; il en faut donc plus pour exploiter 35 kilom. que pour en exploiter 20. Mais ce matériel s'accroît aussi en raison inverse de la lenteur de la marche des trains. On a en conséquence :

$$1^k : 1^k,750 :: 1^f,02 : 1^f,78$$
$$25^k : 17^k :: 1^f,78 : 1^f,29$$

La différence est à porter en charge à la ligne qui exige le plus de matériel.

2. $(0,75 + 1,125) : 2 = 0^f,937$.

La dépense de traction, qui, sur la rampe de 15 millimètres, s'élèvera, pour 1,750 mètres parcourus sur cette rampe, à
(5f,814 × 1k,750m) = ... 10 fr. 175
est à comparer avec la dépense par kilomètre sur la rampe
de 25 millimètres. 8 280
Il reste en faveur de la rampe de 25 millimètres. . . . . 1 fr. 895

Ainsi s'établit la différence entre la dépense d'exploitation de 35 kilomètres de rampe de 15 millimètres, comparée à celle de 20 kilomètres de rampe de 25 millimètres.

Nous pouvons maintenant résumer les résultats de cette étude.

8° APPLICATION DES PRIX DE TRACTION A LA DÉTERMINATION DU CHIFFRE DE RECETTE KILOMÉTRIQUE, A PARTIR DUQUEL LE TRACÉ A RAMPE DE 15 MILLIM. DOIT ÊTRE PRÉFÉRÉ AU TRACÉ A RAMPE DE 25 MILLIM.

1re HYPOTHÈSE.

Trafic produisant une recette brute de 40,000 *francs par kilomètre.*

DÉPENSES DE CONSTRUCTION.

Rampe de 15 millimètres : longueur du chemin, 35 kilomètres : dépense d'établissement . . . . . 35,525,000 fr.
Rampe de 25 millimètres : longueur du chemin, 20 kilomètres, dépense d'établissement. 20,300,000
Différence en faveur de la rampe de 25 millimètres. . 15,225,000 fr.
soit, à 6 0/0, 913,500 fr. d'intérêt économisés, à répartir sur 20 kilom., soit 45,675 fr. par kilomètre en faveur de la rampe de 25 millimètres.

Revenu sur la rampe de 15 millimètres, 40,000 fr. par kilomètre et pour 1,750 mètres. . . . . 70,000 fr.
Revenu sur un kilomètre de rampe de 25 millimètres, 40,000 fr., auxquels il faut ajouter 45,675 fr. pour l'économie de l'intérêt annuel que procure ce tracé sur la dépense du capital : (40,000 fr. + 45,675) = ... 85,675
La différence en faveur de la rampe de 25 millimètres est donc, par kilomètre, de. . . . . 15,675 fr.

DÉPENSES D'EXPLOITATION.

Le nombre des trains correspondant à une recette de 40,000 fr. étant de 5,900, et la différence de dépense d'exploitation par kilomètre et par train en faveur de la rampe de 25 millimètres, 1 fr. 895, cela constitue un avantage de
1 fr. 895 × 5,900 = ... 11,180

Ce qui, dans l'hypothèse d'un produit de 40,000 francs, établit qu'on eût bénéficié par kilomètre. . . . . 26,855 fr.

si le tracé par rampe de 25 millimètres avait été préféré au tracé par rampe de 15 millimètres.

L'avantage est donc ici en faveur du tracé par rampe de 25 millimètres.

2e HYPOTHÈSE.

Trafic produisant une recette brute de 85,000 francs par kilomètre.

Recette sur la rampe de 15 millimètres, 85,000 fr. × 1,750 mètres =	149,000 fr.
Rampe de 25 millimètres : 85,000 fr. + 45,675 fr. =	130,675
Différence en faveur de la rampe de 15 millimètres.	18,325 fr.

Dans cette hypothèse, les dépenses d'exploitation vont différer de celles qui précèdent, parce que les frais fixes se répartissent sur une plus grande circulation. Nous les avons évaluées comme suit, par train et par kilomètre.

	Rampe de 15 mill. TRAINS DE		Rampe de 25 mill. TRAINS DE	
	voyageurs.	marchand.	voyageurs.	marchand.
Administration centrale..... Cette dépense est de 0,10c au chemin de fer du Nord, pour une recette de 66,400 fr. par kilomètre.	0f,150	0f,150	0f,150	0f,150
Exploitation..... Cette dépense est de 76c au chemin de fer du Nord, pour une recette de 66,400 fr.	0,800	0,800	0,800	0,800
Matériel et personnel des bureaux et de la traction, moins les quatre chapitres ci-dessous..	0,295	0,295	0,295	0,295
Entretien et réparation des voitures, graissage.	0,400	0,400	0,400	0,400
Combustible.....	0,750	1,125	1,125	1,125
Entretien des machines et graissage.....	0,600	0,600	0,800	0,800
Usure des freins.....	0,124	0,124	0,250	0,250
Entretien et surveillance de la voie..... Dans l'hypothèse considérée, cette dépense s'accroît d'un supplément d'usure des rails, de la surveillance et de la main-d'œuvre d'entre-	0,671	0,671	0,780	0,780
A reporter.....	3,790	4,165	4,600	4,600

Report.....	3f,790	4f,165	4f,600	4f,600

tien de la voie proprement dite, dans le rapport du simple au double; mais elle décroît parce que les frais fixes se répartissent sur un plus grand nombre de trains.

Il y a donc lieu d'ajouter au chiffre 5,195f, qui exprime la dépense de ce service en plaine, les compléments suivants, qui sont considérés comme les dépenses propres aux rampes de 15 et de 25 millimètres.

	Rampes de 15mm.	Rampes de 25mm.
Ci, frais en plaine.....	5,190f	5,190f
Supplément de surveillance et de main-d'œuvre permanente ou autre.....	2,000	3,000
Supplément pour renouvellement des rails.....	1125	1,500
	8,315	9,690

Il y a lieu de croire que la somme affectée au renouvellement des rails dans les deux chiffres ci-contre (1875 et 2250 fr. par kilom.) serait fortement réduite si on employait des rails en acier sur les fortes rampes. L'excédant du capital qui en résulterait n'atténuerait que bien faiblement l'avantage à en attendre.

Dans l'hypothèse considérée, la somme ci-dessus se répartit sur la circulation de 12,400 trains, soit par train et par kilomètre... ..... 0f,671 0f,780

Intérêt du matériel :

Capital 100,000 fr. par kilomètre, intérêt et amortissement 10,000 fr., soit, pour 12,400 trains, 0 ,80c, et pour 1,750 mètres. 1f,40

Ce sera sur la rampe de 25 mill. $\frac{0^f,80 \times 25}{17}$ 1,175

Soit en charge sur la rampe de 15 mill. 0,225 | 0,225 | 0,225 | » | »

A reporter.....	4f,015	4f,390	4f,600	4f,600

Report.....	4f,015	4f,390	4f,600	4f,600
Il faut ajouter pour la part de la machine de renfort.....	$(\frac{1}{8})$	$(\frac{1}{5})$	$(\frac{1}{3})$	$(\frac{2}{3})$
La dépense de cette machine, que nous avons trouvée de 5 fr. 182 par kilom. sur la rampe de 15 mill., et de 5 fr. 87 sur la rampe de 25 mill. doit être réduite dans le premier cas, de 0 fr. 47, et dans le second cas, de 0 fr. 48 sur la dépense d'entretien et du renouvellement de la voie qui ne croît pas dans le rapport du trafic. Les chiffres sont alors 4 fr. 712 sur la rampe de 15 mill. et de 5 fr. 39 sur celle de 25 mill.; soit pour la part indiquée ci-dessus, par kilomètre.	0,590	0,945	1,800	3,600
	4f,605	5f,355	6f,400	8f,200
Dépense par kilomètre et par train.....	4f,97		7f,30	

Le coût, 4 fr. 97, doit être appliqué à 1,750 mètres sur la rampe de 15 millimètres, soit 8 fr. 700, par kilomètre et par train.

La différence des frais d'exploitation sera donc, en faveur de la rampe de 25 millimètres, 8 fr. 70 — 7 fr. 30 = 1 fr. 40 par kilomètre et par train.

On a vu que l'avantage, en ce qui concerne le capital de construction engagé, est en faveur de la rampe de 15 millimètres, dans l'hypothèse d'une recette brute de 85,000 fr. par kilom., et que cet avantage équivaut par kilom. de chemin à . . . . . 18,325 fr.

Mais, dans l'exploitation, cet avantage se trouve annulé par le prix de revient par train et par kilomètre parcouru, qui est de 1 fr. 40 en faveur de la rampe de 25 millimètres, soit sur 12,400 trains × 1 fr. 40 = ... 17,360 fr.

C'est presque l'égalité entre les deux tracés.

Les deux tracés sont dans des conditions presque égales. D'où il résulte que l'avantage d'un tracé par rampe de 15 millimètres sur un tracé par rampe de 25 millimètres, dans les circonstances de la traversée des . . . ne commence que lorsque l'importance du trafic dépasse une recette brute de 88,000 francs par kilomètre.

EXPLOITATION SUR RAILS EN ACIER. *Hypothèse d'un trafic donnant 40.000 fr. de recette brute par kilomètre.* Reprenons maintenant l'hypothèse où l'exploitation aurait lieu sur des rails en acier, c'est-à-dire par des machines de puissance suffisante pour ne nécessiter aucun emploi de la machine de renfort.

1er CAS. *Hypothèse d'une recette brute de 40,000 fr. par kilomètre.*

	TRACÉS A INCLINAISONS			
	de 15 millimètres. TRAINS DE		de 25 millimètres. TRAINS DE	
	voyageurs.	marchand.	voyageurs.	marchand.
Dépenses d'exploitation.				
Il y aura lieu d'ajouter aux frais d'exploitation établis par les calculs précédents, par train et par kilom., pour une machine seule, montant à.	4f,783	5f,158	5f,344	5f,344
1° A raison de l'accroissement de puissance de la machine, un supplément proportionnel à l'emploi de la machine de renfort exprimé par les fractions suivantes	$(\frac{1}{6})$	$(\frac{1}{5})$	$(\frac{1}{3})$	$(\frac{2}{3})$
S'appliquant à l'entretien de la machine	0,075	0,120	0,266	0,266
Et à la consommation du combustible.....	0,093	0,225	0,373	0,746
2° L'excédant de dépense résultant de l'emploi des rails en acier de 82 kilog. 5, au lieu de rails en fer de 38 kilogr. Cet excédant sera de 160,000 fr. par kilomètre en comptant l'acier à 500 fr. par tonne[1] et le fer à 220 fr. l'intérêt de cette somme est, à 5,65 0/0, de 9,000 fr. par kilomètre, qui, répartis sur 5,900 trains, ajouteraient par kilomètre.....	»	»	1,522	1,522
Total des frais d'exploitation par train et par kilomètre.....	4f,951	5f,503	7f,505	7f,878
Soit, en moyenne, par train et par kilomètre.	5f,227		7f,692	

La dépense 5,227 fr. sur la rampe de 15 millimètres, s'élèvera proportionnellement aux distances parcourues dans la proportion 20:35, soit $5^f,227 \times 1^k,750^m =$ . . . . . 9 fr. 147

Cette dépense étant, sur la rampe de 25 millimètres. . . . 7 692

Il reste en faveur de la rampe de 25 millimètres une différence, par train et par kilomètre, de. . . . . 1 fr. 455

Nous avons vu que, dans l'hypothèse dont il s'agit, la supériorité du profil de 25 millimètres s'exprimait, quant aux recettes et à l'économie sur la dépense de construction, par un chiffre de. . . . . 15,675 fr.

Il faut ajouter la différence ci-dessus : 1 fr. 455 × 5,900 trains, soit 8,585

L'avantage est en faveur du tracé par rampe de 25 millimètres. Ce qui porte l'avantage du profil à rampes de 25 millimètres sur celui de 15 millimètres, par kilomètre, à. . . . 24,260 fr.

1. Il coûte 700 fr. la tonne aujourd'hui pour de faibles quantités et avec des procédés de fabrication encore récents.

2e CAS. *Hypothèse d'une recette brute de* 85,000 *fr. par kilomètre.*

On aura les résultats suivants par l'emploi des rails en acier.

	TRACÉS A INCLINAISONS			
	de 15 millimètres. TRAINS DE		de 25 millimètres. TRAINS DE	
	voyageurs.	marchand.	voyageurs.	marchand.
Il y aura lieu d'ajouter aux frais d'exploitation établis par les calculs précédents.....	4f,015	4f,390	4f,600	4f,600
Le surcroit des dépenses d'entretien des machines et de consommation du combustible porté ci-dessus.....	0,168	0,345	0,639	1,012
Quant à l'excédant de dépense résultant de l'emploi des rails en acier, il se répartit sur 12,400 trains, soit 9,000 fr.: 12,400 trains.....	»	»	0,725	0,725
Total des frais d'exploitation par train et par kilomètre.....	4f,183	4f,735	5f,964	6f,337
Soit en moyenne.....	4f,459		6f,15	

La dépense de 4 fr. 459 par train et par kilomètre sur la rampe de 15 millimètres, s'élèvera proportionnellement à la longueur comparative des deux tracés, soit comme 20 : 35, soit 4 fr. 459 × 1,750 mèt. 7 fr. 80.

Cette dépense étant sur la rampe de 25 millimètres..... 6 fr. 15.

Il reste en faveur de la rampe de 25 millimètres une différence, par train et par kilomètre, de ..... 1 fr. 65.

Cette différence, appliquée à 12,400 trains, produit un avantage total par kilomètre de chemin de 12,400 × 1f,65 = ... 20,460 fr.

Or nous avons vu que dans l'hypothèse d'une recette brute de 85,000 francs, l'avantage de la rampe de 15 millimètres se traduisait, par kilomètre, par un chiffre de..... 18,325

Il resterait donc, dans ce cas, en faveur de la rampe de 25 millimètres, une différence, par kilomètre, de..... 2,135 fr.

L'avantage est encore en faveur du tracé par rampe de 25 *millimètres ; mais, à partir de* 90,000 *francs de recette brute il y a égalité de produit net entre les deux tracés.* Ce ne serait, en conséquence, qu'à partir de 90,000 francs de recette brute que commencerait à se montrer l'avantage du tracé à rampe de 15 millimètres sur celui de 25 millimètres, si on substituait aux rails en fer des rails en acier offrant une résistance qui permît l'emploi de machines locomotives dont les essieux seraient chargés de 17 tonnes.

DEUXIÈME PARTIE.

§ 2. De l'emploi des rails en acier sur les rampes de 25 m/m, considéré comme moyen de simplification du service et d'économie de la traction.

SOMMAIRE.

§ 1. EXPOSÉ.

§ 2. DURÉE DES BANDAGES; DURÉE DES RAILS; durée présumable des bandages en acier sur rails en acier.

§ 3. ÉTUDE SUR L'ADHÉRENCE DES BANDAGES EN ACIER SUR RAILS EN ACIER. Facilité d'accroître la puissance des machines résultant de l'emploi de rails plus résistants.

§ 4. DÉPENSE COMPARÉE DE LA CONSTRUCTION D'UNE DOUBLE VOIE EN RAILS DE FER OU D'ACIER.

§ 5. APPLICATION DES VOIES EN ACIER A L'EXPLOITATION DU SEMMERING. Simplification de service et économie résultant de cette application.

---

§ 1. EXPOSÉ.

La limite de poids que les machines locomotives semblent ne pouvoir dépasser sans inconvénients pour la voie et les bandages, est de 6 à 7 tonnes par roue d'un diamètre supérieur à 1m,60, et de 5 à 6 tonnes par roue du diamètre habituellement employé pour les machines de grande puissance. Cette limite, quand elle est atteinte, comporte l'emploi de bandages en acier d'excellente qualité, pour éviter des remplacements trop fréquents, et pour éviter aussi la rapide détérioration que font subir aux rails les bandages dont la surface de roulement présente un creux ou une gorge trop prononcée.

Les bandages en acier exercent sur les rails en fer une action destructive d'autant moins rapide qu'ils conservent plus longtemps leur régularité de forme. Lorsqu'ils se creusent, ils n'atteignent plus la table du rail par des surfaces parallèles à celles-ci, et ils cessent, par conséquent, d'exercer des pressions normales à ces surfaces.

Supposons, pour éclairer cet exposé, qu'un bandage porte sur le rail par une surface qui, grâce à l'élasticité de la roue et du rail, aura 5 millimètres

de largeur dans le sens de la longueur du rail, et 8 millimètres dans le sens transversal. Si ces deux plans de contact de 40 millim. carrés sont parallèles et sensiblement horizontaux, la pression exercée par une roue de 6 tonnes sera de 150 kilogrammes par millimètre carré; mais si les plans cessent d'être parallèles et que l'étendue du contact soit, par cette cause, réduite de moitié, la pression exercée par la roue sur le rail sera égale à 300 kilogrammes par millimètre carré. Elle ne pourra être moindre qu'autant que le contact serait plus étendu.

Mais comme la courbe qu'affecte transversalement la gorge du bandage usé ou déformé n'est nullement semblable à celle de la table du rail, c'est sur les lèvres intérieure ou extérieure du champignon que se portent ces énormes pressions à chaque déplacement transversal de la machine. Cela explique la rapide altération des bords du champignon des rails. Cette altération procède par laminage, dessoudage et enlèvement par aiguilles des lèvres du rail.

L'expérience démontre, en outre, que le passage des roues sur les rails a pour conséquence de donner aux bandages et aux rails deux formes tout à fait différentes. Tandis que le bandage se creuse suivant une courbe d'autant plus allongée que le jeu des roues dans la voie est plus grand, le rail, au contraire, s'aplatit, et cet effet contribue encore à reporter les pressions vers les lèvres du champignon.

Il n'y a donc aucun doute que si le rail et le bandage conservaient leur forme d'origine, l'usure ou la déformation seraient limitées au simple écrasement des molécules en contact normal, sous la forme d'une légère exfoliation, et que les accidents d'éraillage, de dessoudage et d'écrasement des lèvres du champignon n'auraient pas lieu. Le rail se conserverait donc beaucoup plus longtemps.

Les autres causes les plus générales de la destruction des rails, sont : l'écrasement des extrémités qui s'explique par l'insuffisance de la résistance en ce point. Le dessoudage par mises, qui est la conséquence de la flexion des rails autant que le produit, par la pression, du laminage de la partie supérieure du champignon; ces deux causes disparaîtraient par l'emploi de rails plus résistants et mieux soudés.

Quant à la déformation des bandages, elle est apparente dans l'emploi du fer et des aciers mous; elle cesse de l'être dans l'emploi de l'acier dur et vif. La lamellation ou l'exfoliation, c'est-à-dire la formation, par le fait de l'écrasement, de petites feuilles excessivement minces, est aussi apparente sur les bandages en fer que sur les rails, et longtemps on a pensé que c'était là la forme unique de l'usure réelle; mais on attribuait avec raison, au déplacement de la matière métallique, la plus grande part dans la formation de la gorge ou du creux qui se produit à la table de roulement du bandage. La très-faible perte de poids des rails par ce genre de lamellation a été bien constatée.

Ces préliminaires posés, et puisque la régularité de la forme du bandage

et du rail aurait pour résultat d'accroître leurs surfaces en contact, et conséquemment de réduire la pression par millimètre carré, on peut admettre que plus les rails et les bandages seront susceptibles de conserver leur forme, moindre sera l'altération de chacun : que si les rails en acier sont plus résistants que les rails en fer, la flexion et le dessoudage, l'écrasement de la table et celui des extrémités seront moindres; les rails se détruiront moins.

Si les surfaces mises en contact par le roulement sont plus régulières, elles seront aussi plus étendues; on pourra donc charger les roues au delà du poids actuel, sans que l'usure et la déformation soient plus promptes.

Si l'acier peut supporter des pressions plus élevées que le fer, on pourra encore, de ce fait, charger les roues d'un poids plus considérable, et l'usure sera moins prompte qu'aujourd'hui.

De sorte que, pour employer des machines ayant une plus grande somme d'adhérence, c'est-à-dire un plus grand poids sur un nombre égal de roues, il suffira de former la voie avec des rails en acier et de leur donner une largeur et une hauteur proportionnelles au service que l'on en attend.

En résumé, par la simple substitution de rails en acier aux rails en fer à poids égal, on obtiendrait un plus long usage des rails.

Par la substitution, aux rails ordinaires, de rails ayant une largeur de table plus grande, plus de hauteur, par conséquent, plus de poids et plus de résistance à la flexion, on pourra charger les roues d'un plus grand poids.

D'autres conséquences se produiraient :

La largeur de la table des rails est de 60 $^{m}/_{m}$; elle creuse généralement dans les bandages une gorge dont le bourrelet extérieur varie entre 25 et 35 $^{m}/_{m}$ de largeur, suivant le jeu que comportent les boîtes à graisse et le mouvement de lacet des machines. Il semble donc que si la table de roulement des rails était portée à 90 $^{m}/_{m}$, il ne se formerait pas de bourrelet; la surface de contact entre le bandage et le rail serait plus régulière et plus étendue; et si la résistance propre du rail était rendue proportionnelle à l'augmentation du poids porté par les roues, ce poids pourrait encore être augmenté en raison des surfaces en contact et de la plus grande résistance du métal.

L'altération des rails serait, à poids égal de fer ou d'acier, beaucoup moindre que dans le cas d'emploi du fer, à cause de la supériorité de résistance de l'acier; elle serait, par conséquent, beaucoup moindre encore si le poids était augmenté et la forme rendue plus résistante.

En élevant le poids supporté par les roues à 9 tonnes, au lieu de 6, sur des rails de 0.09 de table, de 0.20 de hauteur, pesant 82 kilog. par mètre, la résistance des rails serait très-supérieure à ce qu'elle est dans les conditions actuelles.

Ces indications générales méritent d'être confirmées par l'étude des effets qui se produisent réciproquement par le contact entre les bandages et les rails.

§ 2. Durée des bandages; durée des rails.

La durée des bandages varie beaucoup avec leur qualité, avec le poids dont les roues sont chargées, avec le diamètre de celles-ci, avec la nécessité de mettre au même diamètre les deux roues d'un même essieu, ou les quatre, ou six, ou huit roues couplées d'une même machine. Mais cette durée subit, en outre, l'influence variable d'autres dispositions du mécanisme. C'est ainsi que l'usure des boudins est fonction de l'écartement des essieux extrêmes, autant que de l'instabilité des machines; que le faux rond est quelquefois produit par les contre-poids et surtout par l'inégalité de l'application de la force motrice à la circonférence des roues. L'action simultanée et très-énergique des deux manivelles placées à angle droit sur l'essieu moteur, au moment où elles décrivent les quarts de cercle correspondant à l'horizontale, la correspondance de cette action avec la descente des bielles de pistons et d'accouplement, produisent, en un certain point de la circonférence des roues, un maximum d'effort qui a pour conséquence de solliciter le glissement du bandage au point où le contact sur le rail correspond à ce maximum, et on reconnaît assez communément que la gorge causée par l'usure offre en ce point un creux beaucoup plus profond que dans les autres parties.

Dans certains ateliers, on compte par rafraîchissage de roues motrices une épaisseur perdue de 11 millimètres, à savoir :

7 millimètres de creux.
3 d° de faux rond.
1 d° de matière réprise sur l'endroit le plus creusé.

11 millimètres.

Le bandage livré par le fabricant à 57 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur, est mis en service à 54 $^{m}/_{m}$, et il est réduit ainsi par le premier tournage à 43 $^{m}/_{m}$; le second le réduit à 32, et il est retiré après avoir été mis en service trois fois. Son épaisseur est alors réduite au fond de la gorge à 25 $^{m}/_{m}$. Aussi dans cette dernière période, sa déformation est-elle plus prompte que dans les deux précédentes.

Dans d'autres ateliers les bandages de roues des machines entrent en réparation lorsque le creux a atteint 5 mill. au maximum et, dans ce cas, la perte d'épaisseur varie entre 7 et 9 $^{m}/_{m}$ par opération de retournage; le bandage subit alors trois retournages et il a quatre périodes successives de travail.

Enfin il est quelques ateliers où on compte 5 à 6 $^{m}/_{m}$ par opération.

Cela dépend du degré d'usure après lequel les roues sont retirées du service pour être rafraîchies.

Pour les roues de wagons que l'on retire généralement du service après que le creux a atteint 6 $^{m}/_{m}$, la déformation de la roue, l'inégalité de dureté des bandages, la nécessité de ramener exactement au même diamètre les deux roues montées sur un essieu, amènent généralement une réduction de 8 à 10 $^{m}/_{m}$ par opération. Le bandage entre en service avec une épaisseur de 50 à 52 $^{m}/_{m}$; il subit trois opérations, dont la dernière le réduit à 20 ou 22 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur. Dans cette dernière période de service, il est rapidement relâché par le laminage qu'il subit sous la pression de la roue.

Sur soixante-seize opérations de rafraîchissage exécutées dans les ateliers de la Compagnie de l'Ouest, la perte d'épaisseur constatée par la hauteur du boudin avant et après chaque opération, a été de 5,6 millimètres.

Il résulte de ce qui précède, que l'usure réelle, c'est-à-dire le creux formé par l'usure ou le déplacement de la matière, ne constitue guère que la moitié ou les deux tiers de la diminution d'épaisseur totale des bandages, de leur entrée en service jusqu'à leur retrait.

Nous citons, comme le résumé le plus précis, l'opinion de M. Vuillemin, ingénieur de la traction au chemin de l'Est; elle est d'ailleurs partagée par la plupart de ceux de ses collègues dirigeant des services de traction.

« Dans les bandages en fer employés pour les roues de wagons, il y a généralement usure, c'est-à-dire disparition du métal par suite du roulement sur les rails, et diminution plus considérable au tournage, pour rendre à ces bandages leur profil normal; cependant, lorsque le bandage devient trop mince, il y a déformation en même temps qu'usure, c'est-à-dire refoulement du métal à droite ou à gauche de l'axe de roulement.

« Dans ce cas, le fer se lamine, et il y a, non-seulement une augmentation de largeur, mais aussi un agrandissement de diamètre qui oblige de démonter le bandage pour le resserrer.

« Sous les locomotives et tenders, les bandages en acier puddlé d'une dureté moins grande que l'acier fondu, s'usent plus qu'ils ne se déforment.

« Dans les bandages en acier fondu, l'usure par le roulement est peu considérable, à cause de la dureté du métal et de sa ténacité; mais après deux ou trois retournages, lorsque l'épaisseur du bandage approche de 30 $^{m}/_{m}$, il y a une déformation considérable. Cette déformation est telle qu'on est obligé, très-souvent, de mettre au rebut les bandages, avec une épaisseur encore considérable, parce qu'il n'est plus possible de leur rendre au tournage un profil convenable.

« Les bandages en acier fondu, lorsqu'ils sont arrivés à une épaisseur d'environ 30 $^{m}/_{m}$, ne tiennent plus sur les jantes par suite de l'agrandis-

sement du diamètre dû au laminage du métal, et ils prennent à l'intérieur une forme concave qui oblige à retourner les jantes des roues.

« Pour les bandages les plus chargés, c'est-à-dire ceux des roues des machines Engerth, l'usure est peu sensible, mais l'altération de forme est très-considérable.

« Ces résultats rendent l'emploi de l'acier fondu très-coûteux.

Bandages de wagons.

« L'épaisseur des bandages neufs tournés est de.	58 m/m
On les retire généralement avec une épaisseur de.	25
Usure et matière enlevée au tour.	33 m/m

« Un bandage subit, en moyenne, 4 retournages avant d'être mis au rebut : soit en moyenne $\frac{27}{4} = 6$ m/m 7 de diminution par retournage, dont 4 à 5 m/m d'usure, et le surplus enlevé au tour, à cause des facettes, écrasements, et pour rendre au bandage son profil normal.

« Pour les bandages de roues des wagons à 10 tonnes, seuls adoptés aujourd'hui, je pense qu'on se rapprocherait de la vérité, en admettant une usure moyenne de 3 à 4 m/m par an, ce qui donnerait à un bandage une durée de huit à onze ans. »

Les bandages des roues de wagons sont généralement en fer. Leur épaisseur est telle que 30 m/m peuvent en être enlevés par des retournages ou rafraîchissages successifs avant leur retrait du service. Le parcours que peut dans ces conditions accomplir un bandage, varie entre 150,000 et 180,000 kilomètres. Ce dernier chiffre semble un maximum auquel il convient de nous arrêter pour être à l'abri d'erreur en plus sur la perte d'épaisseur en fonction du parcours. Cette évaluation se traduira par la donnée suivante : Un millimètre d'usure ou de déformation d'un bandage de roue de wagon correspond à un parcours de 6,000 kilomètres environ.

Nous avons pu constater à peu près rigoureusement qu'un parcours annuel de 2,662,000,000 kilomètres, effectué en 1862, par des roues de voitures ou wagons, avait donné lieu dans l'année à 48,240, rafraîchissages ou remplacements de bandages. Cela correspond à un parcours de 6,500 à 10,000 kilomètres par millimètre de perte de matière, suivant que l'épaisseur du bandage est réduite, par opération de 8,25 m/m ou de 5,6 m/m.

Bandages des machines et tenders.

« Épaisseur des bandages neufs	58 m/m
Épaisseur des bandages retirés du service.	33
Usure et matière enlevée au tour	25 m/m

Machines à voyageurs et mixtes.

« Parcours moyen des bandages usés en 1862. . . 105,000 kilomètres.
Parcours moyen d'une machine, 27,000 kilomètres. — Durée 4 ans environ.
Parcours par millimètre de bandage usé $\frac{105000}{25} = 4{,}200$ kilomètres.

Machines à marchandises.

« Parcours moyen des bandages usés. . . . . 90,000 kilomètres.
Parcours moyen d'une machine, 26,000 kilomètres. — Durée 3 ans et demi.
Parcours par millimètre de bandage usé $\frac{90000}{25} = 3{,}600$ kilomètres.

Nous adopterons, d'après les données qui précèdent, les résultats indiqués dans le tableau suivant :

ESPÈCES DE BANDAGES.	MÉTAL.	PARCOURS total d'un bandage.	PARCOURS correspondant à 1 millimètre de diminution d'épaisseur.	FABRICANTS.
		kilomètres.		
Roues de wagons et voitures.	Fer.	180000	5000 à 7000^k	Petin et Gaudet.
Roues de tenders	Fer.	126000	4920	Id. Diétrich.
Roues de support des machines.	Fer.	75000	3000	Id. Id.
Id. Id.	Acier.	275000	9000 à 11000	Krupp.
Roues motrices indépendantes.	Fer.	85000	2500 à 3400	Petin et Gaudet, Lowmoor, et Diétrich.
de 2,10 à 1,80	Acier.	200000	8000	Krupp.
Roues motrices couplées	Fer.	70000	1500 à 2800	Petin-Gaudet, Diétrich
de 1,75 à 1,53	Acier.	150000	4500 à 6000	Krupp.
Roues motrices couplées	Fer.	60500	2420	Petin-Gaudet, Diétrich
par 3 et 4 essieux	Acier.	120000	4800	Krupp.

C'est ici le lieu de faire remarquer qu'en établissant d'après ces chiffres la durée des bandages, cela n'implique pas une usure correspondante. La reprise par le tour des parties non usées de la table des bandages s'étend, non-seulement au bourrelet et aux faces extérieures souvent déversées, mais à la partie même la plus profonde du creux formé sur la table de roulement. C'est ainsi que, dans certains ateliers, on estime que l'épaisseur d'un bandage perd $5^m/_m,5$ pour un retournage, quand, en réalité, la profondeur du creux n'est que de $4\,^m/_m$. Dans d'autres ateliers, on estime que la perte complète d'épaisseur provenant d'un retournage est de 8 millimètres.

Nous avons ensuite recherché quel pouvait être l'affaiblissement de l'épaisseur des bandages correspondante à la circulation totale des véhicules et machines sur un chemin de fer. Nous en résumons, dans le tableau suivant, les résultats appliqués au mouvement sur le chemin de fer d'Orléans.

PARCOURS DES VÉHICULES ET DES MACHINES en kilomètres.	NOMBRE moyen de roues par voiture ou par machine.	PARCOURS total des roues en kilomètres.	PARCOURS correspondant à 1 millim. d'affaiblissement de l'épaisseur d'un bandage. Kilomètres.	USURE totale en millimètres.
Voitures et wagons. 225.000.000	4	900.000.000	6000	150.000
Tenders..... 13.000.000	6	78.000.000	4920	15.800
Machines à voyageurs et mixtes..... 9.000.000	3	27.000.000	8000	3.400
Roues de support.. 9.000.000	3	27.000.000	3000	3.400
Machines à marchandises..... 4.000.000	6	24.000.000	2420	9.000
Affaiblissement total annuel de l'épaisseur des bandages				181.600$^{m}/_{m}$

Le parcours annuel des trains ayant été, en 1862, sur les deux réseaux de 13,160,000 kilom., on obtient l'affaiblissement correspondant de l'épaisseur des bandages d'un train par kilomètre, en divisant l'affaiblissement total annuel par le parcours total annuel, soit :

$$\frac{181.600\,^{m}/_{m}}{13.160.000} = 0{,}0138.$$

Ce résultat obtenu, et nous répétons qu'il exprime un maximum d'affaiblissement de l'épaisseur des bandages, nous pouvons en tirer celui des services comparatifs des bandages et des rails.

Rails.

Prenons pour base les 50 premiers kilomètres de chemin de fer des cinq grandes lignes qui aboutissent à Paris. La moyenne de la circulation sur chaque voie, y est au minimum de 25 trains par 24 heures, ce qui correspond à 9,125 trains par an et à un affaiblissement des bandages sur cette partie de $0^{mm},0138 \times 9125^{t} = 126$ millimètres.

Il y a trois parts à faire à cet affaiblissement dans l'épaisseur des bandages.

1° Celle du déplacement de la matière;

2° Celle de l'exfoliation ou broyage direct de la matière au contact de la table de roulement du bandage et du rail;

3° Celle qui est reprise par le tour pour rendre le rond à la roue.

Or, si les effets étaient réciproques entre le bandage et le rail, les deux premières causes produiraient leur effet sur le rail aussi bien que sur le bandage.

Supprimant pour le rail l'effet de la troisième cause, il resterait 96 $^{m}/_{m}$, attribuables au déplacement de la matière et à l'usure directe; de sorte que si l'effet produit sur les bandages se produisait également sur les rails, il faudrait sur ces 96 $^{m}/_{m}$ d'usure, en attribuer 48 $^{m}/_{m}$ à chaque rail.

Mettons de côté le déplacement de la matière en lui attribuant la moitié, les deux tiers, les trois quarts même de la perte d'épaisseur du bandage : il restera encore entre l'usure réelle de ceux-ci et celle des rails une énorme différence.

Mais un rail, dont le champignon serait usé ou abaissé de 5 $^{m}/_{m}$ seulement, qui aurait perdu 5 $^{m}/_{m}$ de sa hauteur, deviendrait infiniment trop faible; il faudrait donc dix remplacements de rails par an sur les parties soumises à cette fréquentation de trains. Or cela n'est pas. Les rails sont généralement remplacés avant que l'épaisseur du champignon ait perdu trois millimètres, et c'est leur altération générale qui motive leur renouvellement.

Leur durée moyenne en ces parties si fréquentées est de quatre ans au minimum.

La circulation sur le chemin de fer entre Paris et Saint-Denis, s'approche de 70 trains par 24 heures, et des rails soumis à l'épreuve en cette partie, n'ont donné qu'un rebut de 2 °/₀ en deux ans.

La conclusion de ces rapprochements est que les effets du contact des bandages et des rails ne sont nullement réciproques. Nous avions, du reste, acquis personnellement la preuve de ce fait, lorsqu'en 1851, nous avons repris, dans la voie du chemin de fer de Saint-Germain [1] les rails nécessaires à la voie du chemin de fer d'Argenteuil. Ces rails, après quinze ans d'usage, sous une circulation de 20 à 25 trains environ par jour, dans chaque sens, n'avaient perdu en poids que 0^{k},750 grammes par mètre courant, correspondant à moins de 2$^{m}/_{m}$ d'épaisseur. Depuis ils ont perdu 0^{k},840 gram. C'est 1^{k},590 de perte de poids par mètre courant et par toutes causes, depuis vingt-sept ans.

M. Émile Clerc, ingénieur des ponts et chaussées, chargé des travaux d'entretien et de la surveillance du réseau de l'Ouest, a fait procéder, lors du renouvellement de la voie du chemin de Rouen, à la constatation des pertes de poids subies par les rails.

1. Entre Paris et Colombes.

Il a trouvé que la perte, par mètre courant, était :

Pour les bons rails,	0k,40
Rails passables,	0k,70
d° mauvais,	1k,21

Le poids normal de ces rails était de 36 kilog. Leur durée avait été de quatorze ans. La différence de poids entre les bons rails et les rails passables ou mauvais, tient aux fragments qui manquent à ces derniers. L'opinion de M. É. Clerc, est que l'usure des rails est insensible, sauf dans les courbes de faible rayon, et sur les points où l'on fait habituellement usage des freins; mais il établit une différence essentielle entre l'usure continue et la détérioration qui provient de la mauvaise qualité des rails.

L'opinion de cet ingénieur, dont le service est très-étendu et comprend les lignes les plus et les moins fatiguées, les plus anciennes et de bien nouvelles, et qui a en outre exécuté plusieurs renouvellements de voie, est partagée par ceux de ses collègues qui ont eu l'occasion d'acquérir la même expérience.

Comment donc expliquer l'absence sur les rails d'un effet si sensible sur les bandages?

Citons à cet égard l'opinion de M. de Freycinet, ingénieur des mines, ex-chef de l'exploitation du chemin de fer du Midi[1].

« Un train agit sur la voie de deux manières :

« Par la machine,

« Par les véhicules.

« L'action de la machine est très-complexe. On y distingue :

« La pression verticale due au poids supporté par chaque essieu qui agit pour écraser les rails, pour les désassembler et pour déterminer l'enfoncement de tout le système de la voie.

« La réaction tangentielle des roues motrices sur les rails qui tend à les déchirer et à les entraîner longitudinalement.

« Les frottements latéraux des boudins des roues, engendrés par le mouvement de lacet, qui dérangent l'écartement de la voie.

« Les frottements dans les courbes dus à la rigidité du châssis qui altèrent la courbure de la voie, ainsi que les glissements dus à la solidarité, soit des roues d'un même essieu, soit des roues d'essieux accouplés, qui contribuent à l'usure des rails.

« Enfin, mille causes variées, tels que les chocs, les réactions des mouvements du mécanisme, etc., qui produisent des effets multiples de désagrégation.

« L'influence de ces diverses causes apparaît immédiatement. Il en est une dont on pourrait, au premier abord, être tenté d'amoindrir l'im-

1. *Des pentes économiques*. Bachelier, 1861.

portance : c'est la seconde. Les roues de la machine tournant sans patiner, on est disposé à faire abstraction du frottement de glissement, et à ne voir, dans le phénomène, qu'un cas de roulement ordinaire, analogue à celui des autres véhicules du convoi. Ce serait là une illusion. Si les roues motrices tournent sans patiner, c'est parce que les points d'appui qu'elles trouvent dans leur adhérence sur les rails, leur permettent de vaincre toute la résistance du train ; mais que cette résistance approche d'égaler le frottement de glissement, la machine roulera encore, et, cependant, les rails auront à supporter un effort tangentiel presque égal à celui du glissement lui-même, et les effets de déchirements devront être presque aussi sensibles. La seule raison pour laquelle les roues motrices ne reproduisent pas effectivement toute l'usure observée dans le glissement, ce n'est pas parce qu'elles roulent au lieu de glisser, mais c'est parce qu'habituellement la résistance du train est inférieure à celle qui déterminerait le patinage. L'effort des roues motrices, pendant la marche normale, n'en reste pas moins, sur tout le parcours, une fraction de l'action de glissement.

« Cette analyse montre la grande prépondérance des effets de la machine sur ceux des autres véhicules.

« D'abord ces derniers sont dépourvus de l'action de glissement ou, du moins, elle est réduite, pour chacun d'eux, à la résistance même du mouvement individuel, ce qui est tout à fait insignifiant. Chaque véhicule entraîne les suivants, non en vertu de son adhérence, mais par la simple transmission horizontale de l'effort de traction fourni par la locomotive. Il n'y a donc, à proprement parler, qu'un frottement de roulement, dont l'action est incomparablement moins destructive. Quant aux autres causes, énumérées pour les machines, elles existent aussi pour les wagons, mais à un degré bien inférieur. Parlons de la plus importante, de la pression normale.

« Pour en apprécier les effets, voyons-les, soit par roue, soit par longueur totale du rail[1]. Le poids sur l'essieu moteur est de 10 à 12 tonnes, souvent davantage, soit 5 à 6 tonnes sur chaque roue. Le poids moyen d'un véhicule chargé est de 8 à 10 tonnes[2], soit 2 tonnes à 2 tonnes ½ sur chaque roue. La pression produite par une roue motrice est donc environ deux fois et demie celle d'une roue de wagon. Gardons-nous de conclure que la succession de deux à trois roues de wagon produirait le même effet que le passage d'une roue motrice. Il s'en faut de beaucoup. C'est l'intensité de l'effort, bien plus que sa répétition, qui le rend nuisible pour la voie. En d'autres termes, une force double produit beau-

1. La considération de la pression sur un rail entier a de l'importance, car c'est la plus grande force qui tend à les désunir. La pression par roue correspond à l'écrasement du rail.

2. Sur le chemin du Midi, où les wagons sont des plus grands types, le poids moyen du véhicule n'est guère que 9 ¼ tonnes.

coup plus que le double d'effet. La raison en est manifeste. Tant que les pressions qui s'exercent sur les rails ne dépassent pas la limite d'élasticité du métal, les déformations ne sont que momentanées et l'usure à peu près nulle. Mais dès que la limite d'élasticité est dépassée, les déformations sont permanentes, et la destruction complète ne tarde pas à s'ensuivre. Or, les rails et les machines étant constitués les uns par rapport aux autres, de manière à permettre une circulation habituelle, et cependant les écrasements de rails étant assez fréquents, on voit que la pression des roues motrices est dans le voisinage de la limite d'élasticité, généralement au-dessous, mais quelquefois au-dessus. Au contraire, la pression des roues de wagons est beaucoup au-dessous. L'usure qu'elle produit est donc insignifiante par rapport à l'autre. Sur une longueur totale de rail, les conclusions sont les mêmes. Cette longueur étant moyennement de 6 mètres et la distance entre les essieux extrêmes étant de 3 à 4 mètres, le rail est destiné à supporter tout le poids de la locomotive, soit une trentaine de tonnes généralement. La longueur entre les tampons d'un wagon étant supérieure à 6 mètres, le rail ne porte qu'un wagon à la fois, soit, comme nous avons dit, 8 à 10 tonnes, ou moins du tiers du poids de la machine. Ici encore nous dirons que l'assemblage des rails étant combiné pour résister aux plus fortes actions, c'est-à-dire au passage de la machine, et le but n'étant pourtant pas complétement atteint, on peut conclure que la limite de résistance de tout l'appareil d'assemblage est quelquefois dépassée par l'action de la locomotive, mais ne l'est pas par le poids du wagon, ou que ce dernier effet est négligeable relativement à l'autre. Ces observations s'appliquent également à l'enfoncement de la voie.

« Quant à toutes les autres causes de détérioration que nous avons déjà mentionnées, et dont l'influence est d'ailleurs beaucoup moindre que celle de la pression normale et de la réaction tangentielle, il est facile de voir que leur rôle est très-affaibli dans les véhicules. Sans parler des phénomènes se rattachant à la rigidité du châssis, à la solidarité des roues, à la dureté des ressorts de suspension, etc., qui sont manifestement bien plus prononcés dans la machine, on peut, pour la plupart des autres, remarquer qu'ils sont proportionnels à la masse du corps en mouvement, et que dès lors les actions mises en jeu dans la locomotive et dans les véhicules offrent des différences d'intensité qui leur rendent applicables toutes les remarques précédentes.

« En résumé, nous estimons que, dans le passage d'un train, la machine produit seule la plus grande partie du mal ; les véhicules qui suivent y ajoutent peu de chose. Pour les locomotives d'un poids donné, le rapport de l'effet de la machine à l'effet du train entier varie évidemment avec le poids remorqué. Ce rapport est égal à 1 quand la machine voyage seule ; il décroît à mesure que la charge augmente, et il atteint sa valeur minimum quand la composition du train est la plus élevée

possible, comme cela aurait lieu si la circulation s'effectuait sur une ligne horizontale, et si tout le poids de la machine était utilisé pour l'adhérence. Les résultats d'expérience manquent encore, non-seulement pour déterminer de quelle manière ce rapport varie avec le poids du train, mais même pour en faire connaître la limite inférieure. »

Nous avons cité cet exposé tout entier, parce qu'il est un des plus complets qui aient été écrits sur le sujet que nous traitons ici.

Le passage des roues fait subir aux rails un martelage, un mattage à froid, un laminage. Il forge, il étire les rails. Le laminage qu'il opère est tellement apparent que le champignon s'allonge à l'extrémité du rail dans le sens du mouvement.

A ces effets s'ajoute, sous le poids de roues très-chargées, une légère exfoliation, sous forme de petites lamelles d'une épaisseur extrêmement faible, apparentes à l'extrémité des rails dont elles sont évidemment la forme d'usure.

Elles se montrent aussi sur la table de roulement des bandages en fer des roues fortement chargées. Elles s'y forment tangentiellement à la circonférence de la roue.

Sur certains bandages en acier fondu ou en fer cémenté, elles sont remplacées par une poussière fine qui se montre au simple contact de la main.

Ainsi le bandage en fer ou en acier doux se déforme et se lamine en lamelles par l'écrasement. Le bandage en acier très-résistant se pulvérise. A part la légère exfoliation produite sur les rails par les roues de machines les plus chargées, le rail est martelé et laminé, il se dessoude, s'écrase, s'éraille, se détruit sans autre perte de matière que celle de la chute des fragments qui résultent de l'éraillage des lèvres du champignon et du dessoudage.

Si l'usure des rails correspondait à celle des bandages, le passage des wagons en causerait les quatre cinquièmes, tandis qu'il est reconnu que les roues de wagons éprouvent les rails infiniment moins que celles des machines, et que parmi ces dernières, ce sont les plus chargées et celles qui ont le plus faible diamètre, qui causent la plus forte altération des rails.

Des ingénieurs pensent que si le rail est de bonne qualité il ne s'use pas, et qu'il doit durer indéfiniment; d'autres considèrent l'usure directe de la table, l'usure sans déplacement de matière comme très-faible. Quelle qu'elle soit, toujours est-il que le rail est loin de s'abaisser par déplacement de matière autant que se creuse la table de roulement des bandages.

Durée des bandages en acier sur rails en acier.

Avant de conclure sur la nature des effets qui se produisent, compa-

rons ce qui se passe avec ce qui aurait lieu, dans le cas de l'emploi exclusif de bandages en acier sur rails en acier.

L'application des bandages en acier Krupp, aux roues des véhicules et machines, est faite depuis assez de temps pour qu'on puisse se rendre compte de la diminution d'épaisseur des bandages produite par le parcours. Nous n'avons pu cependant disposer que d'un nombre restreint d'exemples. Les deux premières colonnes du tableau suivant en indiquent les résultats; les deux dernières s'appliquent au parcours et à l'usure correspondante des bandages sur l'ancien réseau du chemin de fer d'Orléans.

ESPÈCES DE BANDAGES.	PARCOURS total d'un bandage en acier Krupp.	PARCOURS correspondant à 1 millim. d'usure.	PARCOURS total des roues en 1862, sur le chemin de fer d'Orléans.	PARCOURS par millimètre de diminution d'épaisseur du bandage.
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Roues de voitures et wagons.	545.000	21.000	797.312.788	33.800
Roues de tenders.....	313.000	12.500	64.248.390	5.130
Roues motrices de machines à voyageurs et mixtes.....	236.000	9.500[1]	20.749.326	2.180
Roues de support.....	236.000	9.500[2]	20.749.326	2.180
Roues de machines à marchandises.....	125.000	5.000	22.749.398	4.550
Diminution totale annuelle présumée de l'épaisseur des bandages.....				47.840 $^{m}/_{m}$

Le parcours des trains ayant été de 9,814,508 kilomètres, la diminution correspondante au passage d'un train sur 1 kilomètre sera :

$$47{,}840 \text{ mill.} \quad \frac{9{,}814{,}508}{0^{mm},00{,}487}.$$

Une circulation de 9,125 trains amènera une diminution de ($9{,}125^{t} \times 0^{mm},00487$), soit $18^{m}/_{m},70$, au lieu de $126^{m}/_{m}$, que nous a donné l'emploi de bandages en fer.

Soit, un effet, près de sept fois moindre.

Ces $18^{mm},70$ correspondront (déduction faite de la matière enlevée au tour) à $13^{mm},6$, et par rail à $6^{mm},8$; de sorte que, si les effets étaient

1. M. Laurent a constaté des parcours moyens de 60,000 kilom. avant le premier retournage, effectués par huit paires de roues couplées de machines locomotives de $1^{m},67$ de diamètre munies de bandages en acier de Krupp.

2. M. Forquenot a constaté que deux paires de bandages en fer cémenté (Leseigneur), placés sur les roues d'avant d'une locomotive, avaient parcouru 60,000 kilomètres sans que l'usure dépassât 2 millim. d'épaisseur.

identiques sur les rails et les bandages, l'abaissement de la table du rail en acier serait, dans un an, de $6^{m}/_{m},8$.

Or, si dans l'emploi de rails en fer nous avons trouvé qu'une diminution d'épaisseur des bandages de 118 millimètres, correspondante à 59 millimètres par rail, n'avait pas d'effet sensible sur la hauteur du rail, à plus forte raison se produira-t-il un effet moindre encore si le rail, au lieu d'être en fer, est en acier.

Nous pouvons maintenant apprécier les conséquences de l'emploi de bandages en acier Krupp, et de rails en acier Bessemer, ayant une table de $90^{m}/_{m}$, une hauteur de 20 cent., pesant 82 kilog. par mètre, et ayant un moment d'inertie de 250,000 kilog.

1° La largeur de table permettra d'accroître le poids supporté par les roues, de 6 tonnes à 9 tonnes; le bandage sera ainsi usé régulièrement dans toute la largeur de sa surface de roulement.

2° Le bandage conservera sa forme régulière, et l'altération des rails sera diminuée de tout ce dont l'accroît aujourd'hui l'influence du creux qu'affecte la surface de roulement après un certain parcours.

3° Le rail ayant, proportionnellement à la charge de 9 tonnes, un moment d'inertie beaucoup plus considérable que celui que présente le rail actuel par rapport au poids de 6 tonnes, les effets de destruction résultant de la flexion des rails seront beaucoup moindres.

4° Le rail en acier, fabriqué par la méthode Bessemer, étant un fer légèrement carburé, doué de plus d'homogénéité et de ténacité que le rail actuel, néanmoins doux et ductile, ressentira infiniment moins les effets du passage des roues. Il sera sans doute martelé et forgé à froid, lamellé par la pression des bandages; mais il s'exfoliera moins, il ne s'éraillera pas et ne se dessoudera plus, parce qu'il sera mieux soudé, qu'il sera soumis à des flexions moindres et que la régularité des surfaces en contact diminuera l'intensité du mouvement de lacet.

§ 3. ÉTUDE DE L'ADHÉRENCE DES BANDAGES EN ACIER SUR RAILS EN ACIER.

Examinons maintenant les conséquences de l'emploi des rails et des bandages en acier sur l'adhérence.

L'économie ne sera obtenue, dans les transports de grandes masses qui importe d'abord au pays, et dans les très-grandes vitesses, qu'à l'aide d'une parfaite stabilité dans le mouvement. Parmi les conditions de cette stabilité est, en première ligne, la régularité du contact des bandages et des rails et, par conséquent, l'assiette normale des éléments qui composent la voie.

Pour obtenir ce résultat, nous n'avons à compter qu'avec les matériaux dont nous disposons.

Parmi ces matériaux, les plus perfectionnés sont l'acier Krupp pour les bandages; l'acier, ou, si l'on veut, le fer Bessemer pour les rails.

Nous connaissons aussi la nature des effets du contact réciproque de ces deux matières. Le bandage Krupp s'use, en se pulvérisant, bien plus qu'en se déformant. La table du rail s'use par exfoliation, et le rail se détruit par d'autres effets. L'usure du bandage est prompte, celle du rail est très-lente. La proportion est peut-être comme 100 à 1.

Que deviendra l'adhérence dans ces conditions?

Et d'abord l'adhérence résultant du contact des bandages sur les rails produit des effets très-différents sur les surfaces en contact, suivant qu'il y a simplement roulement comme pour les roues de support, ou qu'au simple mouvement s'ajoute la tendance au glissement résultant de l'effort appliqué à la circonférence des roues motrices, isolées ou accouplées.

Quelle est cette différence?

La question se complique ici des effets du poids porté par les roues et de leur diamètre. Les bandages des roues de wagons dont on peut déterminer approximativement la diminution d'épaisseur proportionnellement au parcours, portent un poids qui varie de $1^t,5$ à 4^t; leur diamètre varie de $0^m,91$ à 1^m.

Les roues de support des machines portent, en tout temps, $4^t,5$ à $5^t,5$, leur diamètre est de 1^m à $1^m,10$.

Les roues motrices portent 5 à 6 tonnes; leur diamètre varie entre $1^m,20$ et $2^m,30$.

Nous avons dit que les documents qui sont entre nos mains nous permettaient d'attribuer aux roues des divers usages, garnies de bandages Krupp, les diminutions d'épaisseur comparatives suivantes :

NUMÉROS.	ROUES.	DIAMÈTRE.	CHARGE.	PARCOURS correspondant à une diminution d'épaisseur de 1 millimètre.	PARCOURS entier d'un bandage.
1	Motrices couplées (machines à marchandises).	1^m à $1^m,25$	5 à 6 tonn.	5.000	125.000
2	Motrices couplées (machines mixtes).....	$1^m,50$	$4^t,5$ à $5^t,5$	9.500	237.500
3	Motrices indépendantes..	$1^m,80$ à 2,30	$5^t,5$ à $6^t,5$	12.500	313.000
4	Voitures et wagons.....	$0^m,91$ à 1,05	$1^t,5$ à 4^t	21.800	545.000

Les différences considérables que présente l'affaiblissement de l'épaisseur des bandages démontrent suffisamment que cette diminution est fonction du poids porté par les roues, de leur diamètre et de l'effort exercé à leur circonférence.

Si on compare les numéros 1 et 4, le poids n'explique que partiellement la différence qu'ils présentent.

En effet, le poids moyen supporté par les roues couplées de machines à

marchandises est de 5t,5; celui que supportent les roues de wagons est de 2t,25. Si l'affaiblissement du bandage était proportionnel au poids porté par la roue et en raison inverse du diamètre, le parcours correspondant à un affaiblissement de 1m/m devrait, pour les roues couplées de machines à marchandises, être augmenté en raison directe de la différence des diamètres, et il devrait être réduit en raison inverse du poids; cela élèverait le parcours des roues de ces machines, correspondant à 1 millimètre de diminution d'épaisseur, à 12,450 kilom. au lieu de 5,000 kilom., d'où on est autorisé à conclure que la différence (8,450 kil.) doit être attribuée à l'effort à la circonférence résultant de la puissance motrice avec accouplement.

Si on compare l'affaiblissement d'épaisseur des roues de wagons, n° 4, avec celui des roues motrices indépendantes, n° 3, le parcours de 12,500 kilom. de ces dernières s'élèvera à 17,100k, d'où il résulte que l'influence de l'effort à la circonférence s'exprime par un parcours de 4,600 kilom. que ces roues feraient en plus si elles n'étaient pas sollicitées par cet effort.

Les comparaisons suivantes nous donneront des résultats sur les effets de l'accouplement des roues, ajoutés à ceux de l'effort à la circonférence.

Si on compare la diminution d'épaisseur des bandages des roues accouplées des machines mixtes (n° 2) avec celle des roues motrices indépendantes (n° 3), on trouve que le terme 9,500 est ramené à 10,850, d'où il résulterait que la différence 1,650 kilomètres serait attribuable à l'accouplement.

Enfin, si on compare la diminution d'épaisseur des bandages des roues motrices accouplées des machines mixtes (n° 2) avec celle des roues de wagons, le nombre 9,500, qui exprime le parcours attribuable à la diminution d'un millimètre, devient, en fonction du diamètre et du poids, 15,200, donnant ainsi une différence de près de moitié, attribuable à l'effort à la circonférence et à l'accouplement.

Résumant ces résultats, nous trouvons que l'effort à la circonférence et celui qui est dû à l'accouplement réduisent le parcours des bandages des roues motrices, dans les proportions suivantes, par millimètre d'usure :

	PARCOURS NORMAL abstraction faite de l'effort à la circonférence et de l'accouplement.	PARCOURS RÉDUIT par les effets de l'effort moteur à la circonférence et des frottements dus à l'accouplement.
Effort à la circonférence.		
Roues motrices indépendantes.....	17.100k	12.500k
Effort à la circonférence et accouplement.		
Roues motrices des machines mixtes.....	15.200	9.500
Roues motrices des machines à marchandises...	13.450	5.000

Les effets destructeurs des bandages résultant de l'effort à la circonférence des roues motrices indépendantes, étant un, s'élèvent à 1,31 pour les roues couplées des machines mixtes, et à 2,50 pour celles des machines à voyageurs. Comparées au diamètre des roues, la course et l'aire des pistons des machines à marchandises l'emportent toujours sur celles des pistons des autres machines. C'est ce qui explique l'importante différence signalée dans le parcours des bandages des roues des machines à marchandises pour une même diminution d'épaisseur.

Les résultats que fournit le tableau qui précède ne doivent être considérés comme exacts que jusqu'à concurrence de l'exactitude des renseignements que nous avons recueillis. Malgré l'extrême bienveillance que nous rencontrons dans nos recherches, on comprend que les faits manquent là où l'intérêt de les recueillir ne semblait pas apparent. Nous avons cherché une méthode analytique rigoureuse, mais en regrettant le vague des chiffres dont nous faisons usage. Aussi ne considérons-nous cette discussion que comme le canevas d'un travail sur lequel des chiffres plus exacts jetteront une lumière plus sûre.

De ce que les bandages de roues motrices se creusent d'autant plus vite qu'elles sont plus chargées et que l'effort à la circonférence est plus grand; — de ce que l'accouplement des roues est également une cause d'accroissement d'usure, il importe, si l'on veut augmenter la puissance des machines, d'employer, pour les bandages et les rails, des matériaux plus résistants, ou de mettre les matériaux actuels dans de meilleures conditions de résistance.

Signalons, parce que c'est ici le lieu, que la part qui est attribuée par nos chiffres aux effets de l'accouplement sur l'usure des roues semble trop faible. Il est fort désirable que cela devienne l'objet d'observations décisives.

Ce qui est incontestable, c'est que l'usure des roues motrices correspond à une quantité de matière métallique broyée au point de contact entre les roues et les rails. Ce broiement a deux causes : l'écrasement résultant de la pression verticale, et le glissement résultant de l'effort à la circonférence et de l'accouplement.

L'expérience indique que l'adhérence des machines à roues accouplées est plus forte, à poids égal, que celle des roues libres; et, en effet, l'effort de traction qui est habituellement demandé aux premières est, en service courant, proportionnellement plus élevé par rapport au poids porté par les roues motrices, que celui que l'on demande aux secondes. Cela s'explique d'ailleurs. Il faudrait que les roues accouplées eussent un diamètre mathématiquement égal et qu'elles portassent sur les rails par des points situés tangentiellement à la circonférence à une distance mathématiquement égale des centres des roues, pour que l'accouplement n'ajoutât pas un effort sensible à celui qui est exercé sur des roues libres. Mais ces conditions d'identité mathématique, quant au cercle

décrit par chaque roue sur le rail, n'existent jamais. A chaque tour de roue vient ici s'ajouter une certaine quantité de frottements qui peut s'exprimer par les différences du parcours développé par la circonférence de chacune des roues avec la distance dont la machine s'est avancée sur les rails; alors toutes les différences en moins et toutes les différences en plus s'accumulent; toutes constituent un frottement de glissement correspondant à une certaine quantité de matière métallique broyée.

Cette matière est-elle celle du bandage? est-elle celle du rail? Le bandage est dur, le rail l'est beaucoup moins; le rail devrait donc céder. Or, il ne cède pas. La raison apparente de ce phénomène est-elle dans la forme cylindrique des bandages? Le contact angulaire sur une surface droite, d'un cylindre animé d'un mouvement de rotation et de progression, expose-t-il les molécules situées à la circonférence du cylindre à un départ tangentiel aussitôt que l'écrasement les a détachées? Y a-t-il là aussi l'application d'un fait très-général, celui de la schistosité, qui se produit par l'écrasement des matières ductiles sous d'énormes pressions? Cela semble vrai pour les métaux comme pour les autres matières minérales. Lorsque le fer en barre est laminé à une haute température, sa texture reste grenue ; à mesure que la température s'abaisse, le laminage prolongé rend le fer nerveux, ce qui est une première disposition des fibres; puis il le rend fibreux, c'est l'état dans lequel le nerf est chevelu et court. Dans ces opérations et transformations, la forme lamelleuse ne se montre pas parce que la pression est relativement faible; mais dans le travail de la tôle, sous l'influence de fortes pressions, se produit la schistosité, c'est-à-dire la contexture de l'ardoise. Il faut, il est vrai, pour en arriver là, que le laminage soit poussé à l'excès, soit comme pression, soit comme abaissement de la température du métal, mais c'est un fait bien connu des fabricants.

En résumé, l'adhérence s'explique par le frottement; le frottement lui-même n'a pas d'autre expression qu'une certaine quantité de matière altérée ou broyée sous l'influence de la pression; cette matière est celle des surfaces en contact. Que des corps lubrifacteurs ne puissent pas s'interposer, c'est la matière métallique qui sera broyée; cela se produit dans le mouvement de glissement d'une surface sur une autre.

Mais dans le cas du mouvement des roues sur les rails, le contact se compose d'un mouvement rotatif et d'un mouvement progressif, dont la combinaison donne lieu au frottement de roulement, qui est bien plus faible que le précédent.

Ce frottement serait encore réduit, si le rail fuyait sous la roue dans le même sens et avec la même vitesse que celle dont la circonférence de la roue est animée.

Parmi les divers frottements connus dans la nature, celui du glissement de deux surfaces l'une sur l'autre; celui du mouvement rotatif et progressif d'un cylindre sur une surface plane; et celui de deux cylindres

tournant tangentiellement l'un sur l'autre : le dernier est le plus faible à égalité de dureté et de poli des surfaces ; le second est beaucoup moindre que le premier. C'est le dernier qui s'applique en partie aux boîtes à graisse à galets de M. Bricogne ; le second ne s'applique qu'aux roues des wagons et des voitures ; il cesse de s'appliquer exclusivement aux roues motrices toutes les fois que le mouvement progressif ou la vitesse de translation diffère du mouvement rotatif. La différence entre ces deux mouvements est un frottement de glissement. Quand la machine patine, le mouvement rotatif est très-supérieur au mouvement de translation de la machine, et il y a glissement.

Pour ramener ces deux mouvements à l'identité ou aussi près que possible de l'identité, on interpose du sable aux surfaces en contact ; le sable est broyé par la pression entre les surfaces ; il a augmenté le frottement de glissement, de sorte que la force nécessaire pour le vaincre dépasse la résistance propre du train, et alors la machine progresse : c'est le broiement d'une matière qui a aidé à ramener l'équilibre entre l'adhérence et l'effort de traction.

Ce moyen a de nombreux inconvénients, et l'un des plus graves est de nuire au roulement du train après le passage de la machine ; mais il est significatif, parce qu'il démontre que s'il était possible de charger instantanément les roues motrices quand elles patinent, l'adhérence serait maintenue sans interposition du sable. Il faudrait simplement que le poids porté par les roues fût proportionnel à la dureté des bandages et des rails, afin que la matière métallique détachée et broyée par la pression tînt lieu de sable. Plus cette matière aurait de dureté, plus son action serait efficace, et par cela même une très-faible usure des bandages ou du rail correspondrait à une énorme augmentation d'adhérence.

Supposons, en effet, qu'au lieu du sable dont le broiement augmente l'intensité du frottement de glissement et représente un certaine quantité de travail, on emploie de l'acier en poudre, supposé cent fois plus dur que le sable ; le même glissement représenterait alors un travail cent fois plus considérable ; de sorte que si la quantité de travail nécessaire pour rétablir l'équilibre entre l'adhérence et la résistance du train est exprimée par le glissement, celui-ci sera d'autant moindre que la matière interposée et broyée sera plus dure.

Mais à la place du sable, supposons que c'est la matière elle-même qui constitue le bandage et le rail qui devra être arrachée et pulvérisée ou lamellée par l'écrasement, aussitôt que le frottement de glissement se substituera au frottement de roulement : ce sera alors l'adhérence qui représentera l'énorme quantité de travail nécessaire pour détacher la matière de la circonférence du bandage ou de la table du rail et pour la broyer ; l'adhérence sera ainsi augmentée par l'intensité du frottement de glissement et le mouvement de glissement sera diminué en proportion.

Telles sont les conclusions auxquelles nous arrivons par l'emploi de l'acier aux bandages et aux rails.

Nous les résumons :

1° L'emploi de rails en acier ayant une table plus large que les rails actuels, un champignon plus haut, plus de hauteur totale et un moment d'inertie plus considérable, permettra d'accroître le poids porté par les roues motrices des machines proportionnellement aux accroissements de dimension donnés à la forme actuelle des rails.

2° Loin de redouter une diminution d'adhérence de la dureté et du poli des surfaces en contact, il y a lieu d'en attendre un accroissement.

3° La durée des bandages et des rails ne peut qu'être augmentée par l'élargissement de la table de roulement.

4° Il n'y a pas, dans l'emploi des rails en acier, de motif de craindre que le point de contact entre le bandage et le rail soit moins étendu transversalement à l'axe du rail ; il y a, au contraire, présomption qu'il sera plus étendu par le fait de l'augmentation de largeur de la table.

Dans ce cas, l'usure des bandages et du rail étant proportionnelle à la pression par m/m^2, pourra ne pas être supérieure à l'usure actuelle, et pourra être moindre, à raison de la dureté des surfaces en contact.

5° L'adhérence étant le résultat d'un travail produit par le frottement de glissement, travail qui consiste à broyer la matière détachée par l'excès de pression, ou interposée, plus cette matière sera dure, plus le travail accompli en une unité de temps sera considérable, plus sera faible le mouvement de glissement par rapport au travail accompli, plus l'adhérence sera forte [1].

Facilité d'accroître la puissance des machines résultant de l'emploi de rails plus résistants.

Il nous reste à traduire en fait les conséquences des déductions qui précèdent.

La substitution de rails en acier aux rails en fer serait en elle-même si dispendieuse qu'elle ne peut être provoquée que par un grand intérêt. Cet intérêt se résume dans la nécessité d'accroître la puissance des machines au delà des limites actuelles.

Or, l'intérêt d'accroître la puissance des machines, c'est celui de s'aider, dans le tracé d'un chemin de fer, de fortes inclinaisons, pour abréger la distance et diminuer la dépense de construction.

On a reculé avec raison, autant que l'on a pu, devant les fortes incli-

1. Le glissement des roues motrices n'est, il est vrai, qu'accidentel, mais la tendance au glissement et l'effort tengentiel qui en résulte est perpétuel. Peu importe que la puissance de cet effort se manifeste sous forme de glissement, pourvu qu'il existe au même degré les résultats sont les mêmes. » (Ch. de Freycinet, *Des pentes économiques au chemins de fer.*)

maisons, parce que l'on considérait qu'elles grevaient à toujours l'exploitation d'un sacrifice qu'il convenait de lui épargner; mais on ignorait la mesure de ce sacrifice, ou plutôt on le supposait proportionnel à l'accroissement de l'effort de traction. C'était là une grande erreur qui n'existe plus que dans un très-petit nombre d'esprits.

La limite à la puissance des machines est aujourd'hui fixée par plusieurs exigences de leur construction.

Les rails ne supportent pas sans inconvénients une charge excédant 5 à 6 tonnes sous des roues de faible diamètre telles que celles des machines à marchandises, et le nombre des roues motrices n'excède pas douze dans les machines qui constituent le pas le plus avancé pour les grandes puissances mécaniques. Le poids maximum de la machine la plus puissante, celle du Nord, n'excède pas 60 tonnes, et l'adhérence est alors :

à 6	kil. de poids pour	1 kil. d'effort de traction,	10000 kilog.
à 7	id.	id.	8560
à 8	id.	id.	7500
à 9	id.	id.	6660
à 10	id.	id.	6000

L'adhérence ne peut être employée, dans nos climats, au sixième du poids porté par les roues motrices des machines, qu'aux dépens de la régularité de la marche, quand vient la saison brumeuse.

Supposons donc l'emploi d'une pareille machine sur des rampes de 25 à 45 $^{m}/_{m}$ avec emploi de l'adhérence du 7^{e} au 10^{e}. Le tableau suivant nous donnera l'effort de traction qui restera disponible pour les trains.

POIDS adhérent pour 1 kilog. d'effort de traction.	EFFORT de traction développé par la machine de 60 tonnes.	RAMPE DE 25 millim.		RAMPE DE 35 millim.		RAMPE DE 45 millim.	
		Part de la machine dans l'effort de traction 29,25 × 60 t.	Reste disponible pour le train.	Part de la machine dans l'effort de traction 39,25 × 60 t.	Reste disponible pour le train.	Part de la machine dans l'effort de traction 49,25 × 60 t.	Reste disponible pour le train.
7 kil.	8.560^{k}	1.755^{k}	6.805^{k}	2.350^{k}	6.210^{k}	2.960^{k}	5.600^{k}
8 kil.	7.500	1.755	5.745	2.850	5.150	2.960	4.540
9 kil.	6.660	1.755	4.605	2.350	4.310	2.960	3.700
10 kil.	6.000	1.755	4.245	2.350	3.650	2.960	3.040

Le nombre de tonnes qui correspond à l'effort de traction et qui reste disponible pour le train, dans ces divers cas, est comme suit :

POIDS adhérent pour 1 kil. d'effort de traction.	RAMPE DE 25 millim.		RAMPE DE 35 millim.		RAMPE DE 45 millim.	
	Effort disponible pour le train.	Tonnage correspondant effort par tonne : 29.25 kil.	Effort disponible pour le train.	Tonnage correspondant effort par tonne : 39.25 kil.	Effort disponible pour le train.	Tonnage correspondant effort par tonne : 49.25 kil.
7 kil.	6.805 k	234 t	6.210 k	158 t	5.600 k	114 t
8 kil.	5.745	197	5.150	131	4.540	92
9 kil.	4.605	159	4.310	107	3.700	75
10 kil.	4.245	146	3.650	93	3.040	62

Les chiffres qui expriment ici le poids des trains sont un maximum, parce que nous n'avons alloué dans nos calculs, à l'effort de traction sur niveau, que 4k,25 par tonne, ce qui correspond à un état tranquille de l'atmosphère et à des courbes dont le rayon n'est pas au-dessous de 800 mètres [1].

En supposant l'effort de traction au 9e du poids adhérent pour les trains de voyageurs, et au 7e pour les trains de marchandises : prenant pour condition du mouvement des transports que les trains ne doivent pas être divisés au pied de rampes d'une inclinaison même exceptionnelle, le train de voyageurs exigera une machine de renfort au delà de 159t sur la rampe de 25 m/m; au delà de 107t sur la rampe de 35 m/m; au delà de 75t sur la rampe de 45. L'emploi de deux machines assure le service, sans division des trains, sur la rampe de 25 et 35 m/m. Mais la construction actuelle des machines locomotives ne fournit pas de moyens de faire gravir les rampes de 45 m/m par des trains de voyageurs de 200 à 210 tonnes avec deux machines seulement; il en faudrait quatre, ce qui équivaut à l'impraticabilité du moyen.

Le train de marchandises exigera une machine de renfort au delà de 234 tonnes sur la rampe de 25 m/m; au delà de 158 tonnes sur la rampe de 35 m/m, et au delà de 114 tonnes sur celle de 45 m/m. Pour un train de 400 tonnes, considéré comme le train normal jusqu'à 6 m/m d'inclinaison, une machine de renfort sera suffisante sur la rampe de 25 m/m; il en faudrait deux sur la rampe de 35 m/m et trois sur la rampe de 45 m/m.

L'insuffisance des machines actuelles se montre sur les rampes qui dépassent 25 m/m, à partir du moment où deux d'entre les plus puissantes ne peuvent remorquer les trains entiers qui peuvent arriver à leur

1. Il serait peut-être possible de construire des machines plus puissantes encore dans le même système ; en les composant de deux groupes de 8 roues couplées au lieu de 6. Une pareille machine pesant 72 à 78 tonn. dépasserait de 7 à 15 tonn. le poids des plus fortes machines connues. Mais le passage dans les courbes d'une base entre essieux extrêmes de plus de 8 mètres est une difficulté qui forcerait sans doute à recourir à l'articulation des châssis et à sortir du système actuel pour entrer dans la voie des essais.

pied. Dans cet ordre d'idées, l'intérêt d'employer des machines plus puissantes se montre bien évidemment sur les rampes de 35 et de 45 $^{m}/_{m}$, et de là l'utilité de substituer sur ces rampes des rails en acier aux rails en fer.

Cet intérêt existe même pour les rampes de 25 $^{m}/_{m}$; il provient de la possibilité d'économiser la machine de renfort en chargeant de 17 tonnes les essieux des machines, tout en restant d'ailleurs, pour les autres conditions relatives de construction, dans le système actuel. Des machines à 4 essieux, chargées de 17 tonnes, suffiraient sur la rampe de 25 $^{m}/_{m}$ pour la remorque des trains de voyageurs de 210 tonnes (22 voitures) ; et des trains de marchandises de 400 tonnes pourraient être remorqués par des machines à 6 essieux couplés chargés chacun de 17 tonnes.

Le tableau suivant indique la charge par essieu : le nombre des essieux par machine et le nombre des machines qui serait nécessaire pour faire franchir par les trains de voyageurs de 22 voitures, et par les trains de marchandises de 400 tonnes, des rampes de 25, 35 et 45 $^{m}/_{m}$, dans le cas d'emploi de rails en acier, permettant 10 tonnes de charge par roue motrice.

RAMPES.	TRAINS.	EFFORT de traction, machine comprise.	POIDS servant à l'adhérence 1/9 voyageurs, 1/7 marchand.	POIDS sur chaque essieu.	NOMBRE d'essieux de la machine.	NOMBRE de machines.	OBSERVATIONS.
	209^{t}	kil.	kil.	tonnes.			
25 $^{m}/_{m}$	voyag^{rs} 22 voit^{s}	8.330	66.500	17	4	1	
25 $^{m}/_{m}$	400^{t} march^{ses}	12.500	100.000	17	6	1	
35 $^{m}/_{m}$	209^{t} voyag^{rs}	11.100	100.000	17	6	1	
35 $^{m}/_{m}$	400^{t} march^{ses}	20.010	140.000	17 17	6 3	2	Renfort à l'arrière par la plus faible des 2 machines.
45 $^{m}/_{m}$	209^{t} voyag^{rs}	14.800	133.200	20 20	6 3	2	Idem.
45 $^{m}/_{m}$	400^{t} march^{ses}	26.500	185.600	20 20	6 4	2	Idem.

Il résulte des chiffres qui précèdent qu'en employant des rails en acier et en élevant le poids porté par les essieux jusqu'à 20 tonnes, un chemin de fer présentant des rampes de 25 à 45 $^{m}/_{m}$ pourrait être exploité dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire sans obligation de diviser les trains au pied des rampes et sans sortir du système de machines actuellement en usage.

§ 4. DÉPENSE COMPARÉE DE LA CONSTRUCTION D'UNE DOUBLE VOIE EN RAILS DE FER OU D'ACIER.

Il reste à examiner le supplément de dépense qu'exigerait la substitution de rails en acier de 82 kil. par mètre courant aux rails actuels en fer de 38 kil. Ce supplément doit être calculé en supposant deux voies, car il ne nous paraît pas possible d'exploiter avec sécurité sur une seule voie un chemin de fer présentant des rampes de 25 à 45 $^{m}/_{m}$.

Coût comparatif d'un mètre courant de double voie en rails actuels et en rails en acier de 82 kil. par mètre courant :

DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	RAILS EN FER.			RAILS EN ACIER.		
	Quantités.	Prix élémentaire.	Prix total.	Quantités.	Prix élémentaire.	Prix total.
		f. c.	f. c.		f. c.	f. c.
Rails	152^{k}	250 »	38 »	328^{k}	550 »	180 40
Coussinets à 90^{c} de distance moyenne	42	210 »	8 85	65	210 »	13 65
Éclisses à 6^{m} de distance	7	350 »	2 45	12	350 »	4 20
Boulons d'éclisse	2,40	650 »	1 56	4	650 »	2 60
Chevillettes	2,50	450 »	1 12	4 50	450 »	2 02
Coins en bois	4^{c},44	» 10	» 45	4^{c},44	» 15	» 66
Traverses	2^{t},22	5 »	11 10	2^{t},22	7 »	15 55
Sabotage des traverses et pose de la double voie	«	»	9 10	»	»	12 »
Prix d'un mètre courant de double voie	»	»	72 63	»	»	231 08

Soit, pour un kilomètre de double voie de rails en acier de 82 kil. par mètre courant . . . . . 230,080 fr.

En rails en fer de 38 kil. par mètre courant 72,530

Différence. 157,550 fr.

Cette différence de prix doit être couverte, dans les calculs de l'ingénieur, par divers intérêts : celui d'abréger la distance par l'emploi de fortes rampes se place en première ligne.

Vient ensuite celui de n'apporter aucun trouble dans l'exploitation d'une grande ligne, en mettant les conditions du mouvement des trains sur le même pied, quelle que soit l'inclinaison.

§ 5. APPLICATION DES VOIES EN ACIER A L'EXPOITATION DU SEMMERING. SIMPLIFICATION DE SERVICE ET ÉCONOMIE DE DÉPENSE RÉSULTANT DE CETTE APPLICATION.

Pour reconnaître le mérite de cette disposition, faisons-en l'application à l'exploitation actuelle du chemin de fer qui fait partie de la grande ligne de Vienne à Trieste, dite du sud de l'Autriche, et qui traverse les Alpes noriques au col du Semmering.

La hauteur franchie entre Gloggnitz et le Semmering, sur le versant du nord, est de 428^{m},90 ; le profil a, sur une première partie de 6,551 mètres, des inclinaisons dont le maximum est de 10 $^{m}/_{m}$ et la moyenne 8 $^{m}/_{m}$. Sur la seconde partie de ce même versant, qui a 21,384 mètres, les inclinaisons du profil sont en moyenne de 18$^{m}/_{m}$,5 et au maximum de 25 $^{m}/_{m}$. La longueur totale du tracé sur ce versant est donc de 27,935 mètres et l'inclinaison moyenne de 15^{mm},3. La hauteur franchie sur le versant du midi, entre le faîte du Semmering et Murzzüschlag est de 217^{m},50 ; la longueur du chemin de fer est de 13,005 mètres : l'inclinaison moyenne est de 18^{mm},5 et le maximum 25 $^{m}/_{m}$.

Une première observation se présente, à la vue des longs détours que subit le tracé pour gravir le versant nord.

Le col du Semmering était traversé par l'ancienne route, dont la longueur, entre la gare de Gloggnitz et l'entrée du tunnel du faîte, est d'environ 18,000 mètres, tandis que le chemin de fer en a 27,925. La hauteur à racheter sur ce versant étant de 428^{m},90, cela donne pour la route une rampe moyenne de 24 $^{m}/_{m}$; mais le maximum d'inclinaison situé aux lacets que décrit la route entre Schattwein et l'entrée du tunnel dépasse de beaucoup la moyenne, et il est, en conséquence, probable que c'est l'inégale répartition de l'inclinaison moyenne du versant sur lequel s'appuie l'ancienne route, qui a engagé les auteurs du projet à chercher un autre tracé que celui de l'ancienne route pour accéder au faîte. Mais on peut conclure de là, avec toute certitude, que si les ingénieurs s'étaient donné de maintenir autant que possible l'inclinaison de 25$^{m}/_{m}$ sans dépasser 28, ils eussent pu abréger le tracé en proportion de l'inclinaison du profil. L'importance de cette observation est incontestable en face de l'énorme dépense d'établissement du chemin de fer.

Cette dépense est, pour les 41 kilomètres de Gloggnitz à Murzzüschlag de 62,461,000 fr., soit 1,520,000 fr. par kilomètre, sans compter les intérêts du capital pendant la construction. Les souterrains sont, à part celui du faîte, au nombre de 14, et les grands viaducs au nombre de 16.

Tous ces ouvrages étant situés sur le versant du nord, on peut estimer à près de 2,000,000 de francs la dépense d'établissement du kilomètre de chemin de fer sur ce versant.

Si le tracé eût été abrégé dans le rapport des rampes moyennes, soit comme 24mm,75 à 15mm,3, c'est-à-dire réduit à 16,900m au lieu de 27,935, l'économie de 10 kilomètres de chemin eût représenté environ 20 millions de dépense, soit, à 6 p. %, 1,200,000 fr.[1], somme égale à la dépense annuelle de traction sur la longueur entière de 41 kilomètres.

A cette première économie s'en fût jointe une seconde : celle des frais d'exploitation; car dût une partie du profil offrir des inclinaisons de 28 à 30 m/m, l'exploitation n'en eût pas, pour cela, été grevée, à beaucoup près, d'un accroissement de frais proportionnel à l'économie qui serait résultée de l'abréviation du chemin.

Mais, à cette époque, on redoutait les fortes rampes; on ne savait pas encore tout le parti qu'il était possible de tirer des machines locomotives.

Ce point de vue montre combien il serait utile d'étudier rétrospectivement cette bien sérieuse question des tracés préférables pour franchir le Semmering.

Examinons, quant à présent, les seuls avantages que retirerait l'exploitation actuelle de la substitution de rails en acier aux rails en fer, et de l'emploi de machines dont les essieux porteraient 17 tonnes de charge au lieu de 12 que portent les machines Engerth récemment modifiées[2].

Quelques mots sont nécessaires sur la relation du poids de ces machines avec les travaux d'art.

Aujourd'hui les travaux d'art supportent, sous les machines modifiées, une charge de 13t,4 par mètre courant de voie. Une machine à 4 cylindres, système du Nord, ayant 66500k de poids adhérent, répartis sur quatre essieux moteurs, ne dépasserait pas ce poids : la distance des essieux étant de 5 mètres.

Pour les machines à marchandises, ayant 100000k de poids adhérent, la charge serait de 16500 kil. par mètre courant entre les essieux extrêmes, espacés de 6m. C'est une condition qui ne doit pas être oubliée dans le système de construction des travaux d'art; le poids des plus lourdes machines connues, tender compris, a à peine atteint 71 tonnes[3]; une augmentation de 29 tonnes exigerait probablement un accroissement correspondant de distance entre les tampons extrêmes, pour ramener le poids moyen sur la voie aux conditions ordinaires; mais cela ne pourrait être obtenu qu'à l'aide de moyens aujourd'hui éprouvés, tels que l'articulation Engerth ou les articulations Beugnot, qui se prêtent toutes deux à l'emploi de 4 cylindres.

1. M. Desgrange indique comme suit la dépense de traction sur le chemin de fer du Semmering, entre Gloggnitz et Murzzüschlag : $425969^k \times 2^f 849 = 1,212,000$ francs.

2. Dans les machines employées pendant les premières années de l'exploitation du Semmering que modifie en ce moment M. Desgrange, le premier essieu portait 13,700 kilog., le 5e portait 18,000 kilog.

3. Machine Beugniot.

Quant aux courbes, il y a lieu de reconnaître que, jusqu'à présent, le système de montage des essieux dans la machine à voyageurs à 4 cylindres du Nord, a permis de porter, sans inconvénients, la distance entre les essieux extrêmes de $4^{m},86$ à $5^{m},50$; et pour les essieux couplés par groupe de trois, dans la machine à marchandises, à 6 mètres d'écartement.

Nous avons dit que la machine à voyageurs de 66500 kil. de poids adhérent sur 4 essieux, exercerait un effort de traction de 8330^{k}, correspondant au neuvième seulement de son poids adhérent, et que cet effort suffirait à remorquer un train de voyageurs de 22 voitures, pesant 209^{t}, sur une rampe de $25\,^{m}/_{m}$;

Que la machine à marchandises de 100^{t} de poids adhérent, sur 6 essieux couplés par trois, exercerait un effort de traction de 12500 kil., correspondant au huitième de son poids adhérent, et remorquerait un train de de 400 tonnes sur la rampe de $25\,^{m}/_{m}$.

La circulation annuelle a été entre Gloggnitz et Murzzüschlag, de juillet à juillet :

ANNÉES. — Juillet à juillet.	NOMBRE DE TRAINS. PAR JOUR. maximum	PAR JOUR. moyenne.	TOTAL.	WAGONS à voyageurs.	à marchandises. 4 roues.	6 roues.	8 roues.	POIDS BRUT en tonnes.	TONNES à un kilomètre.
1856 1857	35	22	8.065	10.490	14.359	151	33.355	840.000	35.000.000
					47.865				
1857 1858	39	24	8.605	11.704	18.112	30	34.360	891.000	37.000.000
					52.502				
1858 1859	72	36	13.113	24.202	24.955	5	57.223	1.273 000	53.000.000
					82.183				

Pendant la dernière année, le mouvement des transports militaires s'est en partie substitué à celui des produits de l'industrie et du commerce. Pour faire la part de ce fait important, nous ne compterons, pour l'année 1858-59, qu'un mouvement de 940000 tonnes, basé sur le rapport de l'accroissement du trafic des deux années précédentes.

La statistique ne distingue pas le nombre de trains de voyageurs et celui des marchandises; mais l'Indicateur viennois ne porte, pour 1860, que

deux trains de voyageurs par jour dans chaque sens, soit 1460 trains par an. Nous en supposerons 25 p. % en sus, soit 1825.

Cette déduction faite, le nombre des trains de marchandises, de 108 tonnes de poids brut, aura été en 1860, de 8575, ou 23,6 par jour, et le parcours kilométrique annuel de ces trains, 351000 kilomètres.

Nous résumons ces chiffres dans le tableau suivant :

ANNÉES.	NOMBRE de trains par an.	PAR JOUR.	POIDS moyen.	KILOMÈTRES parcourus par les trains.	TRAINS de voyageurs annuellement.	TRAINS de marchandises annuellement.	TRAINS de marchandises par jour.
1856-1857	8.065	22	104t	264.000[1]	1.825	6.240	17.9
1857-1858	8.605	23.6	103t,2	348.000[1]	1.825	6.780	19.1
1860	10.400	28.5	93t voyags / 108t mses	425.969[1]	1.825	8.575	24.6

La statistique ne dit pas comment la circulation des transports se partage dans les deux directions Nord et Sud.

Or, on nous assure que nous serons près de la vérité en supposant un tiers du tonnage dans la direction du nord au sud, et 2/3 dans celle du sud vers le nord.

Les trains de marchandises arrivant du nord ou du sud à Gloggnitz ou Murzzüschlag, avec une charge moyenne de 300 à 350 tonnes, doivent être divisés, pour franchir le Semmering, en trois parties d'environ 117 tonnes. Les machines qui font ce service sont à 6 roues couplées et pourraient remorquer 130 tonnes.

De nouvelles machines à 8 roues couplées, produites par la transformation des précédentes, peuvent remorquer 175 tonnes, et lorsqu'elles auront complétement remplacé les machines à 6 roues couplées, l'ingénieur, auteur de cette transformation, aura réalisé une réduction de parcours de 18 %[2]. Supposons donc cette économie réalisée dès à pré-

1. La statistique donne ce chiffre comme l'expression du parcours des locomotives *utiles*, y compris le parcours des locomotives à vide. Cela semble douteux, car il exprime en réalité celui qui est donné par le nombre de trains ayant parcouru toute la distance de 41 kilomètres.

2. En 1860 les trains du Semmering ont été faits avec les machines Engerth primitives, exigeant la séparation en trois parties des trains de marchandises (117 tonnes).

En 1861, la modification de 6 machines du Semmering a permis de ne diviser qu'en deux une partie des trains ; mais, malgré une charge plus grande, la dépense par train n'en a pas moins été réduite de 2 fr. 849 à 2 fr. 401, soit de 15,70 p. 100.

Enfin, en 1862, la modification d'un plus grand nombre de machines a permis de faire passer deux tiers des trains de marchandises en deux parties au lieu de trois (175 tonnes au lieu de 117), et il n'en est pas moins résulté une réduction de dépense d'environ 2 p. 100 sur 1860.

En 1863, tous les trains de marchandises ne seront divisés qu'en deux, et ce service se fera avec 16 machines, au lieu de 30 qui étaient employées primitivement.

sent, et le parcours réel réduit de 352000^{k} à 280000^{k}; le nombre journalier des trains réduit de 23,6 à 19^{tr},75, soit, pour l'année, 8575 trains réduits à 7025.

Le poids brut des trains de marchandises de 887000 tonnes, est le chiffre normal de 1859-60, calculé dans le rapport de l'augmentation des deux années précédentes.

En prenant le poids des wagons de voyageurs chargés pour 12 tonnes, il reste 14^{t},53 pour le poids des wagons de marchandises, et, pour 887000 tonnes, 61200 wagons, au lieu de 52502 qui avaient circulé l'année précédente.

Dans l'hypothèse d'un trafic de 2 tonnes de poids net dans la direction du nord, pour 1 tonne de poids net dans la direction du sud, il y a à rechercher comment le poids brut des trains se répartit :

La statistique donne, pour la proportion du poids net au poids brut des trains, au Semmering, les chiffres suivants :

ANNÉES de juillet à juillet.	RAPPORT.
1856-57	1 à 2,5
1857-58	1 à 2,6

Sur un mouvement total, en marchandises et wagons, de 887000 tonnes de poids brut, le poids net est 348000 tonnes, dont 238000^{t} dans une direction et 110000^{t} dans l'autre.

Pour un mouvement de 887000 tonnes, le nombre de wagons sera de 61200, soit 30600 dans chaque sens. Cela donne 508000 tonnes dans une direction et 380000 tonnes dans l'autre.

Le mouvement régulier des marchandises variant, sur le Semmering, entre un maximum de 32 trains et un minimum de 19 trains par jour, il faut compter que la plaine apporte chaque jour au pied du Semmering trois ou quatre trains de 350 à 400 tonnes :

Soit, annuellement, du côté sud. . . . . 1,150^{t}

Du côté nord, { Trains chargés . . . . . 800 / Retour de machines à vide. 350 } 1,150

Ce qui fait une circulation de 1950 trains et de 350 machines à vide.

Et en kilom. parcourus, $1950^{tr.} \times 41^{kilom.} = 80000$ / $350^{mach.\ v.} \times 41^{kilom.} = 14350$ } 94350 kil.

Pour un semblable mouvement, la circulation des trains sur le passage serait aujourd'hui de 280000 kilomètres, en supposant accomplie la transformation que subissent en ce moment les machines.

C'est donc entre les chiffres 94350 et 280000 kilom., représentant la circulation comparative pour le même transport dans la plaine et au

passage, que s'établit la comparaison de l'usage des rails en fer et des rails en acier, avec emploi de machines dont les essieux seraient chargés, dans le premier cas, de 12 tonnes, et dans le second, de 17 tonnes.

La dépense de traction d'un train de 350 à 400 tonnes, par une machine à 6 essieux couplés, portant chacun 17 tonnes et exerçant un effort de traction de 12500 kil., est indiquée, par kilomètre, dans le tableau suivant :

	DIRECTION du Nord au Sud.	DIRECTION du Sud au Nord.	MACHINE à vide.	DÉPENSE moyenne actuelle.
Conduite	0 f,352	0 f,352	0 f,352	0 f,352
Combustible (100 kil. à 22 fr.)	2 ,200	1 ,500	0 ,900	1 ,148
Graissage	0 ,250	0 ,200	0 ,150	0 ,134
Eau	0 ,070	0 ,050	0 ,030	3 ,047
Réparations	1 ,000	0 ,800	0 ,550	0 ,805
Frais généraux	0 ,200	0 ,200	0 ,200	0 ,123
Réparations des voitures et wagons.	0 ,480	0 ,480	»	0 ,224
Frais généraux	0 ,032	0 ,032	»	0 ,016
Par kilomètre	4 f,584	3 f,614	2 f,182	2 f,849

Et les dépenses comparatives de la traction seront :

TRAINS.	KILOMÈTRES DE TRAIN.			DÉPENSE.
1150	47,200	à	3 f,614	171,000 fr.
800	32,800	à	4 ,584	150,500
350	14,350	à	2 ,782	31,350
	94,350	à	3 ,74	352,850 fr.

La dépense actuelle est donnée par la statistique à 2f,849 par kilom., soit, pour 280000 kilom. . . . . 797,500 fr.

Dépense trouvée ci-dessus 352,850

Économie annuelle. . . 444,650 fr.,

soit 10,800 fr. par kilomètre.

La plus grande part de cette économie (9,500 fr. par kilomètre) serait absorbée par les intérêts à 6 p. °/o du surcroît de dépense que nécessiterait l'établissement de la voie en rails en acier, mais les circonstances locales semblent devoir beaucoup atténuer cette dépense.

L'entretien de la voie proprement dite est, en effet, porté, au Sammering,

à un chiffre exceptionnel ; il est de 12,670 fr. par kilom.[1], tandis qu'il ne coûte que 4,336 fr. sur les autres sections de la ligne Autrichienne.

Le remplacement des rails et des traverses est entré dans cette dépense pour 3,100 fr., le déplacement de la voie dans les courbes porte la seule main-d'œuvre d'entretien, par an, à 6,000 fr. par kilomètre.

Ce remplacement s'est effectué de la manière suivante :

ANNÉES de juillet à juillet.	RAILS ORDINAIRES.		RAILS DE CHANGEMENT DE VOIE. NOMBRE.			
	Mètres.	Pour 100.	Fixes.	Pour 100.	Mobiles.	Pour 100.
1854-1855	5,600	2,6	inconnu.	inconnu.	inconnu.	inconnu.
1855-1856	11,200	5,2	»	»	»	»
1856-1857	14,000	6,5	99	26,3	27	7
1857-1858	15,200	7,1	150	39,9	49	14
1858-1859[1]	33,100	15,4	165	43,9	76	20

Ces renseignements nous paraissent mériter les correctifs suivants : il n'y a de voie réellement intéressée dans le parcours des trains sur le Semmering que 44 kilom., soit 164000 mètres linéaires de rails ; or en comptant 33100m pour 15,4 °/₀ de la distance entière, cela ferait 215280 mètres linéaires de rails, correspondant à 53820 mètres, soit un excédant sur les 44 kilom., de 12820 mètres de voies de garage, qui doivent être laissées en dehors du quantum pour cent d'usure.

En réalité, l'usure rapportée aux 44 kilom. de voie principale serait donc de 21 p. °/₀ au lieu de 15,4 [2].

La rapidité de la destruction des rails en fer permet d'espérer que l'emploi des rails en acier donnerait lieu à une forte économie sur l'entretien et le renouvellement des rails, et en main-d'œuvre de dépose et repose, transport, etc. Ajoutant à cela la plus longue durée des bandages des roues de wagons roulant sur un rail de 9 centimètres de largeur de table, on peut considérer que le surcroît de dépense en intérêt d'argent, de 9,500 fr., serait compensé, jusqu'à concurrence de moitié, par ces

1. Moyenne de huit ans, de 1854 à 1862. Cet entretien a coûté 18,896 fr. par kilomètre en 1861-62.

2. On a d'ailleurs voulu comparer l'usure des rails sur la rampe de 25 millim., et en plaine : on a affecté à cette comparaison une longueur de 7,587 mètr., moitié en courbe, moitié en alignements, dans la double situation, et on a constaté que l'usure des rails était presque identiquement la même.

3. Le chiffre de 3,100 fr. de dépense, rapproché de celui de 33,000 mètr. de rails remplacés, s'applique à un renouvellement de 26 tonnes environ de rails par kilomètres comptés pour refaçon de 80 à 100 fr. par tonne, transport compris.

économies, et que l'avantage définitif serait encore, avec l'emploi de rails en acier, de 6,050 fr. par kilomètre, et de 248,000 fr. pour l'année.

Revenons maintenant à l'économie qui eût pu résulter de l'adoption d'une rampe continue de 25 m/m là où, pour l'éviter, on a dévié le tracé en dehors de la ligne des thalwegs naturels.

A la place de la longueur actuelle de		41,000m
on aura, entre Gloggnitz et le Semmering, la longueur de l'ancienne route, dont l'inclinaison moyenne est de 24 m/m ci	18k.	
le souterrain de faîte.	1,433m	31,005m
le versant sud	11,572m	
Différence. . .		10,000m

Économie réalisée en capital d'établissement 20,000,000 de francs.

Soit, par an, en intérêts du capital à 6 p. %. . . . . 1,200,000 fr.

La traction, comptée en moyenne à 4 fr. par train et par kilomètre, eût coûté, pour 94350 kilom. 377,400 fr.

Elle en coûte maintenant. 797,500

Soit, économie sur la traction . . . . . 420,100 fr.

Économie annuelle qui eût pu être réalisée par l'adoption de la rampe continue de 25 m/m . . . . . 1,620,100 fr.[1]

Il est probable que la direction du tracé par le thalweg que suit

1. L'exploitation du Semmering a coûté, dans l'année 1858-59, de juillet en juillet, 2,788,375 fr., savoir :

	PAR ANNÉE.			Par kilomètre de voie.	Par kilomètre de parcours des trains.	Par tonne de poids brut à un kilomètre.
	Main-d'œuvre et personnel.	Matériaux.	TOTAL.			
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	c.
Direction. Comptabilité.....	»	»	35,750	358	0,066	0,1076
Frais d'exploitation.....	420,000	672,500	1092,500	26,220	2,036	3,433
Transport dés dépêches.....	»	»	49,000	1,176	0,092	0,1475
L'ingénieur de la section	243 500	29,250	272,750	6,546	0,475	0,850
Locomotives.....	»	»	527,500	12,660	0,983	1,660
Wagons.....	»	»	169,125	4,059	0,317	0,530
Principaux dépôts.....	»	»	9,000	216	0,027	0,296
Travaux sur la ligne	38,750	18,475	57,225	1,378	0,109	0,177
Voie proprement dite.....	94,000	333,250	427,250	10,254	0,795	1,343
Bâtiments	16,750	11,000	27,750	666	0,053	0,0885
Clôtures. Plantations.....	1,500	1,000	2,500	60	0,005	0,010
Signaux.....	26,000	19,750	45,750	1,100	0,086	0,147
Enlèvement des neiges.....	3,250	25	3,275	198	0,013	0,0294
Gaz au Semmering, établissement.	5,750	8,250	14,000	336	0,026	0,0393
TOTAL.....	»	»	2,738,375	65,722	5,071	8,6

l'ancienne route, eût amené, en outre, une importante réduction dans la dépense d'établissement des 18 kilomètres substitués aux 27900 mètres qui ont été construits sur le versant nord. Il n'y a, en effet, nul exemple au monde d'une semblable accumulation de travaux ; elle n'est due qu'à la nécessité de gagner les hauteurs de versants abrupts tranchés par des découpures profondes, tandis qu'en se rapprochant du thalweg naturel, on eût rencontré un sol moins tourmenté ; les courbes eussent pu également être moins nombreuses et moins fortes.

Ces gigantesques travaux, qui ont coûté l'énorme somme de 71,000,000 de francs, y compris les intérêts du capital pendant la construction, sont une intéressante leçon pour l'ingénieur. Le doute est désormais permis sur la valeur de la solution que l'art a adoptée pour franchir ce faîte des Alpes. Le tracé, les inclinaisons, les courbes, le système d'exploitation soulèvent de justes critiques. Évidemment ce n'est plus là la solution que l'art conseillerait aujourd'hui. Nombre d'idées fausses ont disparu sur la puissance des machines ; les règles de l'exploitation se sont simplifiées, parce que les besoins sont plus rigoureux. L'exploitation ne veut sacrifier aux inclinaisons accidentelles et exceptionnelles d'un tracé rien de ce qui tient à l'ordre et à la marche régulière des trains. Toute complication doit disparaître dans le service, et cela se traduit nécessairement en augmentation de puissance des machines. L'ingénieur qui serait appelé à traverser aujourd'hui le Semmering se donnerait certainement pour programme de réduire la longueur du tracé à celle des thalwegs naturels, autant que la continuité de la rampe de 25 $^{m}/_{m}$ le lui permettrait.

Il y a lieu de penser qu'il dépenserait, dans ce cas, pour l'établissement du chemin de fer et pour son exploitation, une somme presque moitié moindre que celle qui a été dépensée et qui se dépense actuellement.

Nous concluons de cette comparaison, comme des considérations qui l'ont précédée, que la substitution des rails en acier aux rails en fer, pour les inclinaisons de 25 $^{m}/_{m}$ et au delà, constitue un des progrès les plus utiles dans l'art de la construction des chemins de fer, parce que cette substitution aurait les conséquences les plus favorables dans l'exploitation.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et C^ie^, rue Mazarine, 30.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1863)

N° 22

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Produit mixte de fer et d'acier fondu*, par M. Verdier. (Voir le résumé de la séance du 10 avril, page 159.)

2° *Écluses à sas mobile.* (Voir le résumé de la séance du 24 avril, page 167.)

3° *Tentatives de production et d'application des aciers fondus faites au chemin de fer du Nord*, par M. Nozo, et *Observations de M. Brüll sur cette communication.* (Voir le résumé de la séance du 10 avril, page 159.)

4° *Ressorts à boudin*, par M. Revin. (Voir le résumé de la séance du 24 avril, page 170.)

5° *Traverses en tôle*, système Faliès et Chollet. (Voir le résumé de la séance du 24 avril, page 173.)

6° *Projet de distribution d'eau de Seine dans Paris au moyen d'un canal de dérivation entre Asnières et Besons*, par MM. Sébillot et Mauguin. (Voir le résumé de la séance du 8 mai, page 175.)

7° *Durcissement des rails par la compression pendant le refroidissement*, par MM. Sieber et Goschler. (Voir les résumés des séances des 8 mai et 5 juin, pages 175 et 183.)

8° *Exposition agricole de Chartres.* (Voir le résumé de la séance du 8 mai, page 175.)

9° *Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse*, par M. Molinos. (Voir le résumé de la séance du 22 mai, page 178.)

10° *Comparaison entre deux trains de chemin de fer avec un profil à inclinaisons de* 15 $^{m}/_{m}$ *et un profil à inclinaisons de* 25 $^{m}/_{m}$, par M. Flachat. (Voir le résumé de la séance du 22 mai, page 182.)

11° *Application des contre-poids aux locomotives*, par M. Desmousseaux de Givré. (Voir le résumé de la séance du 5 juin, page 187.)

12° *Bagues en fonte* appliquées à la voie Vignole, par M. Desbrière. (Voir le résumé de la séance du 5 juin, page 187.)

13° *Décès de M. Faure.* (Voir le résumé de la séance du 19 juin, page 189.)

14° *Situation financière de la Société.* (Voir le résumé de la séance du 19 juin, page 191.)

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° Les numéros 63 et 64 des Mémoires de la *Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube.*

2° Les numéros 3 et 4 du Bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

3° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros d'avril, mai et juin de son journal *l'Invention.*

4° De MM. Gallibour et Gandillot, des exemplaires d'une notice sur leurs *Calorifères à eau chaude et à petits tuyaux.*

5° Les numéros 11 et 12 de la *Revue des Ingénieurs autrichiens.*

6° Le numéro du premier trimestre 1863 de la *Revue des Ingénieurs et Architectes du Hanovre.*

7° M. Cosyns, membre de la Société, un exemplaire de l'*Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.*

8° De M. Meyer, membre de la Société, un exemplaire d'un *Mémoire sur un nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives*, par MM. J.-J. Meyer et Meyer fils.

9° De M. Dallot, membre de la Société, une lettre relative à la *Discussion sur l'application de l'acier*.

10° De M. Verdier, membre de la Société, un *échantillon de rail en produit mixte* (*fer et acier fondu*).

11° De M. Desbrière, membre de la Société, un exemplaire d'une note sur un *Système de bague en fonte applicable à la voie Vignole*.

12° De M. Brüll, membre de la Société, un Mémoire intitulé : *Observations sur la communication de M. Nozo*, relative aux tentatives d'application de l'acier faites au chemin de fer du Nord et sur les raisonnements théoriques, présentés par M. Tresca, dans la séance du 6 mars 1863.

13° De M. Louis Lazare, un exemplaire de la première livraison du troisième volume de ses *Publications administratives*.

14° Les numéros d'avril, mai et juin de la *Revue hebdomadaire des sciences*, intitulé : *Les Mondes*, par M. l'abbé Moigno.

15° Les numéros d'avril, mai et juin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes*.

16° De MM. Noblet et Baudry, éditeurs, un exemplaire du numéro de janvier et février 1863 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*.

17° De M. Faliès, une note explicative et un dessin relatif à un *Système de traverses en tôle*, de MM. Faliès et Chollet.

18° Les numéros de février et mars du Bulletin de la *Société d'encouragement*.

19° Le numéro de la sixième livraison de 1862 des *Annales des Mines*.

20° Le numéro de juillet 1862 du Bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers*.

21° Les numéros de mars, avril et mai des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées*.

22° De M. Émile Barrault, membre de la Société, la dernière partie de son travail sur le *Droit des inventeurs*.

23° De MM. Sébillot et Mauguin, membres de la Société, un exemplaire d'une brochure sur *les eaux de Paris*.

24° De M. Aristide Dumont, ingénieur des ponts et chaussées, un exemplaire de la quatrième partie de son ouvrage sur *les distributions d'eau*.

25° Les numéros 1, 2, 3 et 4 de la *Revue d'architecture et des travaux publics*.

26° De M. Oppermann, les numéros d'avril, mai et juin des *Nouvelles annales de la construction* et du *Portefeuille économique des machines*, et les numéros de janvier, février, mars, avril, mai et juin de *l'Album pratique de l'art industriel*.

27° De M. Lopez-Bustamante, membre de la Société, une note sur des *locomotives en service sur le chemin de fer de Isabel à Santander*.

28° De M. Alexis Barrault, membre de la Société, un exemplaire d'un travail sur l'exécution de la *traversée du Simplon*, par M. Jaquemin, ingénieur.

29° De M. Sieber, membre de la Société, une note sur la *compression des rails pendant leur refroidissement*.

30° De M. Tony-Fontenay, membre de la Société, une note sur *l'application des galeries inclinées*.

31° De M. Dulau, un exemplaire d'une notice sur un *frein automoteur et frein à bras d'économie et de sécurité*.

32° Une collection du Bulletin de la *Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*.

33° De M. Delesse, ingénieur des mines, un exemplaire de son *Rapport sur les matériaux de construction à l'Exposition universelle de 1862*.

34° De M. Albaret, agent principal de la Compagnie des Ardennes, un exemplaire de son *Mémoire sur les calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges*.

35° De M. Vincent, membre de l'Institut, un exemplaire d'une brochure intitulée : *La Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec*.

36° De M. Boudsot, membre de la Société, un exemplaire d'un ouvrage sur le *Dyname*.

37° Les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre des *Annales des ponts et chaussées.*

38° Un exemplaire de l'*Album des fers spéciaux de la Société des hauts fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.*

39° De M. Chavès, membre de la Société, une note sur les *Machines à élever l'eau.*

40° De M. Boudard aîné, membre de la Société, une note sur une méthode de *Traitement de résidus cuivreux provenant des fabriques de nickel.*

41° De M. Prou, un exemplaire de deux brochures sur la *Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec.*

42° De M. Zorès, un exemplaire de son *Album contenant les types de ses fers.*

43° De M. Desmousseaux de Givré, membre de la Société, un Mémoire sur *Quelques considérations pratiques et théoriques sur la question des contre-poids de locomotives.*

44° Le numéro de mai du Bulletin de la *Société industrielle d'Amiens.*

45° De M. Ivan Flachat, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur *la voie de fer la plus courte entre Paris et Toulouse, Perpignan, Barcelone, etc.*

46° De MM. Armengaud frères, membres de la Société, les tomes XXI, XXII, XXIII, XXIV et XXV du *Génie industriel.*

47° Les numéros d'avril, mai et juin du *Journal the Engineer.*

48° De MM. Delesse et Laugel, ingénieurs des mines, un exemplaire de la *Revue de géologie pour l'année* 1863.

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois d'avril :

MM. Bonnaterre, présenté par MM. Faure, Desnos et Peligot.
Carimantrand, présenté par MM. Goschler, Tronquoy et Guérin de Litteau.
Delannoy, présenté par MM. Faure, Forquenet et Perdonnet.
David (Augustin), présenté par MM. Loustau, Houel et Nozo.
Tresca (Alfred), présenté par MM. le général Morin, Faure et Alquié.

Au mois de mai :

MM. Brissaud, présenté par MM. Goschler, Brocchi (Auguste) et Doublet.
Couture, présenté par MM. Alquié, Donnay et Muller.
Dorré, présenté par MM. Gaudry, de Laborie et Vuillemin.
Leygue, présenté par MM. Alquié, Donnay et Chavès.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1863

Séance du 10 Avril 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. FAURE, à la suite de la lecture du procès-verbal, demande la parole pour réparer quelques omissions faites par M. Vuigner dans sa communication relative au projet d'écluse à sas mobile, soumis par M. Seiler à l'examen de la Société.

L'assemblée, consultée par M. le Président, décide que l'ordre du jour sera maintenu, mais que les observations de M. Faure seront entendues dans une séance prochaine.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Bourgougnon, qui offre à la Société, au nom de M. Verdié, un échantillon de rail, produit mixte de fer et d'acier fondu d'une nouvelle fabrication, consistant à envelopper complétement d'acier fondu un rail en fer. Par ce procédé, M. Verdié espère pouvoir employer de l'acier plus dur que celui dont on fait usage ordinairement, sans augmenter les chances de rupture.

M. LE PRÉSIDENT annonce que la Société a reçu une notice, avec plans, *sur un système de locomotive articulée universelle, à charge modérée sur les roues, applicable à toute catégorie de machines et à tous chemins de fer, notamment ceux de montagne*, par MM. Meyer et fils.

Il sera rendu compte de ce travail dans une prochaine séance.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion du travail de M. Nozo, relatif aux tentatives de production et d'application des aciers fondus, faites au chemin de fer du Nord.

M. DE BRUIGNAC désire soumettre à la Société une courte observation sur le raisonnement qu'a développé M. Tresca à la fin de la séance du 6 mars, en comparant les courbes représentant la flexion de barres de fer et d'acier, et en rappelant que les aires déterminées par ces courbes représentent un travail. M. de Bruignac a cru voir une tendance à comparer ce travail moléculaire au travail industriel normal qu'une

pièce pouvait transmettre. Cette pensée résulte de quelques phrases de M. Tresca, et particulièrement de la suivante : « L'essieu en fer pourrá dépenser un travail moléculaire beaucoup plus considérable que celui d'acier, et conséquemment, le premier pourra fournir *un parcours* plus considérable que le second. »

M. DE BRUIGNAC ne pense pas qu'on puisse dire que, en deçà de la limite d'élasticité, une pièce d'une substance quelconque puisse transmettre d'autant plus de travail qu'elle est capable d'une plus grande déformation instable.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que le procédé d'investigation employé avec raison par M. Tresca sert seulement à déterminer les limites de travail mécanique par lesquelles les barres de fer et d'acier sont déformées ou rompues.

M. DE BRUIGNAC demande alors pourquoi il conviendrait de considérer ces courbes dans le cas spécial que traitait M. Tresca. L'expérience simple prouve que le fer est plus déformable que l'acier, et que par conséquent il avertit plus. En ce qui concerne le choc, il est vrai que le fer se comportera mieux que l'acier, en tant qu'une pièce faussée peut valoir mieux qu'une pièce rompue; mais le seul fait des expériences éclairait encore parfaitement ce résultat. — D'ailleurs, ajoute M. de Bruignac, ce n'est que dans le cas d'accidents que ces considérations trouvent leur place, puisqu'elles supposent les pièces dans des conditions tout autres que celles où la pratique veut les maintenir.

M. BRULL donne communication de ses observations sur le mémoire de M. Nozo; il rappelle les conclusions de ce mémoire, d'après lesquelles des essais suivis pendant quatorze années au chemin de fer du Nord, pour la substitution de l'acier au fer, dans des applications diverses, n'ont guère donné que des résultats négatifs; il rappelle aussi les considérations théoriques que M. Tresca a présentées pour expliquer le peu de succès de ces tentatives.

M. BRULL désire protester contre les conclusions que M. Nozo a tirées des faits qu'il a recueillis, et contre les raisonnements que M. Tresca a exposés à l'appui de ces conclusions; il espère être, dans une certaine mesure, l'interprète des sentiments de la Société, et n'en veut pour preuve que la faveur toujours croissante que rencontre l'acier, dont la consommation va sans cesse en se développant.

Les opinions émises peuvent se résumer en deux propositions : 1° Le fer est généralement préférable à l'acier, même de bonne qualité, par suite de la comparaison, au point de vue théorique, des propriétés résistantes des deux métaux; 2° cette préférence est légitimée par les faits observés et par le peu d'homogénéité que présente, quant à présent, la qualité des aciers que nous fournit l'industrie.

Le travail de M. Brüll est partagé en deux parties, où sont examinés successivement ces deux côtés de la question, le côté théorique et le côté pratique.

Admettant d'abord les valeurs numériques choisies par M. Tresca pour la comparaison théorique des deux métaux, bien qu'il se réserve de montrer qu'elles s'écartent notablement des valeurs observées, M. Brüll analyse la façon dont se comporteront une tige d'acier et une tige de fer soumises à un effort de traction longitudinale.

Si cette traction est exercée sans secousse, la sécurité contre la rupture ou contre la déformation sera bien plus grande, à dimensions égales, avec l'acier qu'avec le fer, ou bien, pour un même degré de sécurité, la section serait à peu près deux fois moindre pour le premier métal que pour le second. Si la traction est exercée brusquement, sous forme de choc, et que l'on n'ait en vue que le danger de déformation permanente, l'application du théorème des forces vives et la considération des travaux intérieurs des forces moléculaires, montrent que, même avec les chiffres de

M. Tresca, l'acier présente encore un bien plus grand avantage que dans le cas de la charge statique. Ce n'est que si l'on a en vue le danger de rupture que l'espèce d'acier spécifiée par M. Tresca présenterait sur l'espèce de fer choisie par lui une infériorité incontestable, par cela seul que cet acier a une résistance vive de rupture plus faible que le fer considéré.

Mais on peut reconnaître par une expérience directe que le caoutchouc a une résistance vive de rupture plus grande que certains fers de bonne qualité, et malgré cet avantage on ne remplace pas le fer ou l'acier par le caoutchouc. Cela montre que cette résistance vive de rupture n'est pas la seule chose à considérer dans le choix de la matière à employer pour un usage donné. Et en effet dans la plupart des cas il y a autre chose à éviter que la rupture; ce qu'il faut éviter d'une façon générale, c'est la mise hors de service de la pièce; or, à part les cas analogues à ceux d'un câble ou d'une chaîne, la déformation permanente ou la déformation considérable mettent la pièce hors de service tout aussi bien que la rupture. Une tige de piston, une bielle, un essieu, sont dans ce cas. Il faut alors comparer non pas les résistances vives de rupture, mais bien les résistances vives d'élasticité, et alors l'acier l'emporte de beaucoup.

Après avoir étendu ces raisonnements au cas où la pièce, au lieu d'avoir à résister à un simple effort de traction, doit être soumise à des efforts quelconques, M. Brüll fait remarquer que s'il est rare qu'une pièce n'ait pas de choc à supporter, il est rare aussi qu'elle soit établie uniquement en vue des chocs; généralement les métaux sont employés pour résister à des efforts statiques d'une certaine intensité, pouvant s'augmenter accidentellement d'efforts dynamiques. Il faut alors faire la part des deux ordres de considérations. On reconnaît par exemple, en appliquant directement ces conclusions, qu'une chaîne qui supporte des chocs, qui peut impunément s'allonger, mais qui avant toutes choses ne doit pas rompre, doit être faite avec le métal le plus ductile; qu'il en est jusqu'à un certain point de même d'un pont de chemin de fer; qu'une chaudière, un réservoir, une charpente, n'ayant relativement que peu de chocs à craindre, devraient, au contraire, au seul point de vue des propriétés résistantes, être construites en acier; que les pièces de machines en général, bien qu'ayant à subir des chocs considérables relativement aux efforts statiques, devraient être construites en acier, parce que leur déformation permanente doit être évitée tout autant que leur rupture.

Passant en revue les résultats des expériences de traction relatées dans les meilleurs ouvrages sur la résistance des matériaux, et résumant aussi les résultats d'un énorme nombre d'essais, faits sur toutes les qualités de fer et d'acier, par M. Kirkaldy, de Glascow, et récemment publiés en Angleterre, M. Brüll établit que les valeurs numériques choisies pour la comparaison théorique des deux métaux sont défavorables à l'acier; il montre que, pour la résistance absolue, les diverses qualités de fer forment une série non interrompue, qui fait immédiatement suite à la série des valeurs qui correspondent aux diverses natures d'acier. Il existe des aciers, et on peut en trouver par milliers de tonnes, comme le prouve la fabrication des essieux et des rails d'acier, qui présentent une ductilité aussi grande que les meilleurs fers, alliée à une résistance supérieure. Ces aciers doux ont une résistance vive de rupture plus grande que le fer et peuvent le remplacer avec avantage dans tous les cas, cela est surtout vrai pour les tôles.

La seconde partie du mémoire renferme la discussion des faits d'expérience rapportés par M. Nozo; l'auteur s'attache à prouver, en prenant l'un après l'autre les

divers essais faits au chemin du Nord, qu'aucun d'eux n'est de nature à détourner les ingénieurs de l'emploi de l'acier.

Les ressorts dont la qualité a laissé si souvent à désirer, sont pour la plupart d'une très-petite longueur et d'une grande rigidité. Ils ne peuvent amortir les chocs et subissent ainsi de fréquentes ruptures. Ce sont ces ruptures qui ont amené peut-être la grande sévérité des épreuves de réception et les nombreux refus qui en sont la suite.

Pour les pièces de mécanisme des machines, les conseils du Guide du mécanicien et du constructeur de machines locomotives sont formels à l'égard de la préférence à donner à l'acier; le rapport de M. Flachat, sur l'Exposition de 1862, constate son application générale et considère cette substitution comme un des principaux progrès réalisés dans la construction des locomotives; il suffit d'ailleurs de regarder autour de soi pour reconnaître que cette substitution est devenue aujourd'hui tout à fait générale.

D'après M. Nozo, quelques boutons de manivelle en acier trempé se sont séparés en deux par des plans parallèles à leur axe; l'auteur ne verrait dans ce fait que l'indice d'une trempe mal réussie.

Quelques tiges de piston en acier se sont brisées au clavetage; mais, outre que ces ruptures au clavetage tiennent généralement à des vices de montage, M. Nozo n'a pas dit si la proportion des accidents avait été plus grande avec les tiges d'acier qu'avec les tiges de fer. Rien n'est donc prouvé par cet essai; le chemin de fer d'Orléans a d'ailleurs été très-satisfait du service des tiges en acier.

L'essai des essieux coudés en acier n'est pas concluant, comme le reconnaît d'ailleurs M. Nozo dans sa note, à cause de sa durée encore insuffisante; l'expérience plus prolongée de la Compagnie d'Orléans fait bien ressortir les avantages des essieux en acier.

Quant à l'objection intéressante présentée par M. Steger, sur l'influence que pourrait avoir un angle vif sur la résistance d'un essieu coudé, M. Brüll l'examine au point de vue général de l'influence que peut exercer la forme des pièces sur leur résistance aux chocs. Il montre, en appliquant les considérations et la représentation graphique du travail des forces intérieures et de résistance vive de rupture, qu'une barre dont on réduit la section sur une petite longueur perd, par cela seul, une fraction de sa capacité au choc longitudinal ou transversal, tout à fait hors de proportion avec la diminution de section: c'est ce qui explique l'influence bien connue et très-frappante d'une entaille faite à la tranche. Quelques applications numériques font voir qu'en entaillant une barre à moitié de sa section, on réduit presque à rien sa résistance au choc.

Pour les essieux droits, la première livraison faite au chemin de fer du Nord avait des défauts de fabrication reconnus par les fournisseurs eux-mêmes, dus à la nouveauté de cette fabrication. Ces essieux n'ont pas été acceptés pour le service. Quant à ceux qui roulent depuis plusieurs années, il n'y a à leur charge aucun reproche sérieux. Pour ce qui est des essais, on peut discuter l'esprit dans lequel ils ont été faits. Devrait-on demander à ces essieux d'acier des allongements de fibres aussi considérables que ceux qu'on exigeait du fer? Y a-t-il réellement un intérêt sérieux dans cette sommation des kilogrammètres correspondant aux chutes successives du mouton?

Si, se plaçant à un point de vue plus pratique, on veut comparer la raideur des deux espèces d'essieux et leur solidité, c'est-à-dire les deux qualités qui sont utiles dans leur service, on reconnaît aisément que l'essieu d'acier l'emporte de beaucoup sous ce double rapport.

La question des bandages et des appareils de voie est, dit M. Brüll, entièrement jugée : l'acier est aujourd'hui considéré comme indispensable sous bien des machines locomotives, dans bien des points des gares fréquentées.

Pour les tôles de chaudière, le décret autorisant l'emploi de l'acier à épaisseur deux fois moindre, dispense de toute discussion. L'application grandiose de l'acier fondu, que MM. Petin et Gaudet ont faite dans leur forge de Saint-Chamond à la construction des engrenages, des embrayages des corps de laminoirs, montre la confiance que des hommes certainement autorisés mettent dans les propriétés de l'acier fondu même non martelé.

Après cette revue des diverses applications, M. Brüll examine l'objection tirée du peu d'homogénéité et de la grande diversité des qualités d'acier que l'industrie nous livre. Il montre d'abord que l'acier n'est pas seul dans ce cas. L'écart entre les propriétés des rails américains du pays de Galles et celles des fers faits au bois d'Audincourt ou des fers de Bowling, est tout aussi grand, à quelque point de vue qu'on se place, que l'écart qui peut exister entre le plus mauvais des aciers puddlés et l'acier à outils le plus raffiné. Le cuivre, l'étain, le bois, tous les matériaux possibles offrent diverses variétés dont les propriétés diffèrent. Les ingénieurs ne songent pas à se plaindre de cette diversité, qui met à leur disposition des matières convenant bien, par leurs prix et leurs qualités, aux usages variés qu'ils en veulent faire. Ils ont soin seulement d'étudier ces variétés d'espèces, de connaître les provenances, les prix, les qualités de chacune d'elles. Il nous reste à compléter de même cette sorte d'éducation pour l'acier, qui est une matière relativement nouvelle. C'est en continuant à appliquer ce métal, sans se laisser effrayer par quelques déceptions rencontrées dans les premiers essais, qu'on arrive à en tirer parti le plus avantageusement.

M. Tresca se félicite d'avoir contribué à faire naître, par ses observations, peut-être exagérées, un travail aussi remarquable que celui dont M. Brüll vient de donner lecture.

Cette discussion aura servi à établir que lorsqu'on a fait le calcul d'une pièce, d'après les règles basées sur la limite d'élasticité, il convient encore de rechercher, eu égard à la nature des matériaux, l'influence que des chocs pourraient exercer.

Il est de tout point d'accord avec M. Brüll, avec M. Dallot, avec la commission des machines à vapeur, lorsqu'il s'agit d'établir une comparaison entre des aciers qui peuvent prendre un très-grand allongement avant la rupture et les fers de qualité ordinaire; il ne faut pas oublier que la commission n'a admis, d'une manière exceptionnelle, l'emploi des tôles d'acier pour la construction des chaudières qu'à la condition que le métal employé résiste, sans se rompre, à un effort de 60 kilogr. et à un allongement du quinzième de sa longueur.

Les résultats fort curieux de M. Brüll sur la résistance vive de rupture du caoutchouc sont loin d'être un argument de plus en faveur de l'emploi exclusif des métaux durs; ils sont bien faits pour démontrer que, dans certaines circonstances au moins, les substances qui ont offert une grande résistance vive à la rupture doivent entrer dans la construction des machines, par cela même qu'elles répondent à des besoins spéciaux. Leur introduction est surtout indiquée lorsque l'on peut craindre des actions brusques ou des chocs, et c'est pour cela que M. Tresca recommande l'emploi du fer dans ces conditions. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que ces actions brusques peuvent se présenter dans toutes les machines et dans les locomotives en particulier, soit lors de la mise en marche, soit à la rencontre d'un obstacle inattendu, et puisque leurs organes se rompent quelquefois, c'est qu'ils peuvent être soumis, en certains cas au

moins, à des actions mécaniques développant des quantités de travail supérieures à celles qui correspondent à la limite de leur résistance vive de rupture.

M. Tresca est loin de prétendre que, si l'on était assuré qu'un acier donné eût à la fois une limite d'élasticité plus grande et une plus grande résistance vive de rupture que le fer, il ne fût pas convenable de l'employer; ce métal serait alors dans des conditions meilleures à tous les points de vue, et la préférence devrait lui être accordée; mais il s'agit de savoir si l'on peut sûrement se procurer ces aciers, et si, par exemple, ceux qui ont servi à la construction de la chaudière de MM. Cail et C^e^ n'ont pas été singulièrement adoucis par le recuit de plusieurs années, résultant du fonctionnement même de cette chaudière.

On pourrait se demander d'ailleurs si, dans cet état, le métal est bien de l'acier; s'il prend facilement la trempe, ou s'il ne se rapproche pas beaucoup de ce que l'on a désigné en Angleterre sous le nom de métal homogène, qui n'est ni de l'acier ni du fer, mais bien une sorte d'intermédiaire, empruntant à l'un son homogénéité, à l'autre sa douceur. En cet état, il satisfait parfaitement aux meilleures conditions à rechercher pour les pièces de machines.

Nous n'avons donc pas à rechercher si les amis du progrès sont seulement ceux qui préconisent l'emploi exclusif de l'acier, ou si les ingénieurs plus timorés à cet endroit sont les ennemis de toutes les améliorations, et nous nous féliciterons tous ensemble de ce que la discussion nous a conduits à une appréciation plus exacte et plus complète des meilleures conditions à rechercher dans les qualités des métaux qui doivent être employés dans la construction des pièces de machines.

Dans ce qui vient d'être dit sur cette question importante, on a toujours raisonné dans l'hypothèse où les efforts transmis seraient les mêmes dans les deux cas; mais il ne faudrait pas croire que si l'on plaçait deux machines semblables dans des conditions absolument identiques d'actions brusques, la nature du métal n'aurait aucune influence sur les efforts exercés eux-mêmes. Si le métal est mou, les premières pièces amortiront l'action, et l'effort transmis sera diminué dans une proportion considérable; il en serait tout autrement pour un métal dur, et toutes les parties de la machine pourraient être, dans ce dernier cas, soumises à des efforts beaucoup plus grands. C'est là une considération importante qui milite encore en faveur des métaux mous, et qu'il ne faut pas négliger.

M. le Général Morin rappelle que les essais de résistance demandent certaines précautions, et que des métaux identiques peuvent, suivant le mode expérimental adopté, donner des résultats différents. S'il y a choc, il faut tenir compte du temps dans lequel ce choc est amorti. La formule qui lie l'effort nécessaire pour amortir un choc, avec la vitesse, le temps et le poids du corps, est :

$$F = \frac{P}{g}\frac{v}{t},$$

c'est-à-dire que l'effort est en raison inverse du temps, ce qui montre que la nature du mouton, ou celle des parties qui reçoivent immédiatement le choc dans des expériences de choc, aura une grande influence sur les chiffres qu'on obtiendra.

M. Nozo fait observer que c'est à tort qu'il a été accusé de rejeter l'emploi de l'acier pour la construction des machines; il proteste contre cette imputation, et il lit à l'appui de sa protestation plusieurs passages de sa note, dans lesquels il fait ressortir les avantages que l'on peut tirer de l'usage de cette matière, et surtout

que l'on en tirera quand elle aura une constance de qualité que l'industrie n'a pas encore obtenue régulièrement.

M. Dallot demande à présenter quelques observations en réponse à M. Tresca. M. Dallot désire avant tout protester, de la façon la plus énergique, contre l'accusation d'avoir représenté M. Tresca comme l'ennemi du progrès. Les passages de sa lettre auxquels il a fait allusion témoignent victorieusement de l'inexactitude d'une pareille allégation. Ce qu'il a voulu dire et ce qu'il maintient, c'est que la théorie dont M. Tresca s'était fait l'organe pouvait compromettre ou du moins entraver momentanément l'essor de l'industrie et des applications de l'acier, danger qu'il ne faut point traiter de chimère; car il est à sa connaissance que plusieurs esprits, très-vivement frappés d'affirmations empreintes d'un cachet scientifique aussi imposant, s'en étaient émus au point de renoncer à des tentatives d'emploi qu'ils projetaient. C'est devant ce péril imminent, bien imprévu sans doute par ceux qui l'ont fait naître, que M. Dallot s'est décidé à sortir de la réserve. Rien n'était plus loin de sa pensée, il croit à peine nécessaire de le dire, que de soulever des questions personnelles dans une discussion de cette nature. Au reste, le mal se trouve amplement et noblement réparé par les paroles que la Société vient d'entendre, et qui accroîtraient encore, s'il était possible, l'estime qu'inspirent à tous ses membres la science et le caractère de M. Tresca.

Toutefois, M. Dallot ne peut laisser passer quelques arguments techniques qui tendent à enlever de leur force aux résultats des expériences citées dans sa lettre. M. Tresca a insinué que les échantillons pris sur la chaudière Petin et Gaudet ne pouvaient fournir de témoignage bien concluant, puisqu'ils avaient été soumis, de fait, à un recuit de plusieurs années. M. Dallot répond que ces échantillons n'ont pris qu'un allongement de rupture de $0^m,10$ par mètre, tandis que d'autres échantillons, fournis par les mêmes industriels et qui n'ont subi de recuit d'aucune espèce, ont pris un allongement total de $0^m,18$. D'ailleurs les pièces d'essai empruntées à la chaudière en tôle de fer de la locomotive la Turquie, et qui avaient subi le même genre de recuit que celles de la chaudière Petin et Gaudet, n'ont pris qu'un allongement de $0^m,06$, au maximum. L'objection est donc absolument sans portée.

M. Dallot persiste à protester contre la comparaison que l'on s'obstine à établir entre le fer à l'état de barre et l'acier à l'état de tôle. L'allongement proportionnel de la tôle de fer n'a jamais dépassé 6 p. 100, et les tôles au bois, prétendues douces et ductiles, ne sont pas celles qui ont donné les résultats les plus favorables. Si l'on veut étudier la résistance des deux métaux à l'état de barres, prenez alors des barres d'acier, et vous trouverez des allongements de 25 p. 100, rapportés par M. le général Morin dans la 3e édition de son *Traité de la résistance des matériaux*, et cités dans le beau travail que M. Brüll vient de lire.

M. Dallot observe enfin que toute la discussion a porté exclusivement sur l'emploi de l'acier dans les machines. Il croit regrettable que l'on ait laissé complétement de côté les applications aux constructions, qui sont cependant de la plus haute importance, principalement peut-être au point de vue des constructions navales. Il est incontestable qu'avec la tôle d'acier on pourrait réduire dans une proportion considérable le poids des coques, et tout le monde aperçoit, sans qu'il soit utile d'insister, quelles en seraient les conséquences.

M. le Président fait observer que la pensée de l'application exclusive de l'acier aux constructions repose sur une idée exagérée, attendu que, les coefficients d'élasticité du fer et de l'acier étant sensiblement identiques, il ne peut être question, en

égard aux flexions, de diminuer notablement les dimensions actuellement en usage. Pour prendre un exemple, quand on projette un pont métallique, il faut se préoccuper de la vitesse des charges mobiles qui le franchiront. Or, si les poutres prennent des flexions trop étendues, il en résultera, au passage des trains à grande vitesse, une force centrifuge sensible, dont les expériences de M. Douglas Galton ont parfaitement mis l'existence en lumière, et l'on aura une construction qui ne présentera aucune sécurité.

M. Dallot n'accepte pas l'égalité des coefficients d'élasticité du fer et de l'acier, qnand ces métaux sont employés à l'état de tôles. Il résulte des faits et des expériences, rapportés dans le traité de M. le général Morin, que le coefficient d'élasticité de la tôle de fer ne dépasse pas communément 12 billions. M. Dallot admet pour sa part, que, dans quelques cas assez rares, ce coefficient peut s'élever à 14 ou 15 billions. Mais il ne va jamais au delà.

Laissant de côté la question de chiffres, il n'est pas exact de dire que la flexion d'une poutre soit proportionnelle à la quantité de matière qu'elle contient. La flexion est proportionnelle au moment d'inertie de la poutre, ce qui est bien différent, de sorte que rien ne serait plus aisé que de faire un pont en acier renfermant moitié moins de matière qu'un pont en fer placé dans des conditions identiques, et ne prenant pas cependant des flèches plus grandes.

En outre, M. Dallot ne voit aucun inconvénient à ce que des poutres en acier fléchissent davantage que des poutres en fer, même au passage de trains à grande vitesse. M. Dallot, en proposant de faire travailler la tôle d'acier à 15 kilos, dans les conditions où l'on réduit à 6 kilos la charge de la tôle de fer, n'a pas dit que la flexion ne serait pas accrue. Ce qui lui importe, c'est que les deux métaux se trouveront également éloignés du point où leur élasticité s'altérerait; et l'on peut même dire qu'il existera en faveur de l'acier un grand avantage, puisque le travail dynamique qu'il pourrait subir sans déformation permanente, sous l'influence des chocs qui constituent le véritable inconvénient du passage des trains rapides, serait 5 ou 6 fois plus considérable.

En donnant à la superstructure une masse considérable par rapport aux surcharges accidentelles, ce qu'il est toujours possible de faire avec économie, même pour des portées médiocres, ainsi que le démontre l'exemple du pont de l'Escaut, ce qui résulte de la force des choses dans le cas des grandes portées, il ne sera pas nécessaire de se préoccuper des flexions trop fortes, encore moins de la force centrifuge.

Toute cette argumentation n'a d'ailleurs rien à faire avec l'application de l'acier aux constructions navales, qui a déjà été essayée sur une échelle restreinte, il est vrai. L'essai fait sur le bateau d'exploration du Niger a complétement réussi.

Séance du 24 Avril 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. Dallot demande la parole sur la rédaction du procès-verbal, qui, selon lui, ne reproduit pas exactement ce qu'il a dit dans la dernière séance au sujet des expé-

riences de M. Douglas Galton, et aux effets de la force centrifuge sur les ponts chemin de fer.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que, la Société n'ayant pas de sténographe, le secrétaire chargé de la rédaction du procès-verbal reproduit les discussions aussi exactement qu'il est possible de le faire; mais que, dans tous les cas, il ne peut reproduire que ce qui a été dit, et non ce qu'on a voulu dire.

M. DALLOT insiste sur sa réclamation et persiste à dire que la rédaction du procès-verbal est incomplète.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que l'observation de M. Dallot n'est pas une rectification au procès-verbal; mais qu'il rentre dans la discussion.

Cette question n'étant pas à l'ordre du jour, M. le Président consulte l'assemblée sur l'adoption de la rédaction du procès-verbal.

L'assemblée décide à l'unanimité que cette rédaction sera adoptée, et qu'on passera immédiatement à l'ordre du jour.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société le décès de deux de ses membres, MM. J. Guibal et Thaurin.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Faure, qui l'avait demandée dans le but de réparer un oubli et de combler quelques lacunes dans l'historique tracé par M. Vuigner, dans la séance du 20 mars dernier, sur les systèmes d'écluses à sas mobile.

M. FAURE croit qu'il est juste et qu'il est utile de revendiquer en faveur de M. Girard, membre de la Société, une remarquable solution du problème important qui consiste à réformer le prodigue système des écluses à sas, dans lequel on dépense à chaque éclusée un volume d'eau égal à celui du sas entre le niveau du bief d'amont et le niveau du bief d'aval.

L'intérêt capital qui s'attache à cette réforme est énorme, dans les cas trop fréquents où l'alimentation du canal est plus ou moins insuffisante; il reste considérable encore, même dans le cas d'une alimentation suffisante, parce que *l'eau perdue*, sans autre profit que celui d'avoir fait franchir à un bateau la chute que l'écluse est destinée à racheter, représente un travail mécanique, une puissance motrice que l'industrie saurait utiliser.

Pour chiffrer cette perte, il suffira de dire que dans certaines localités, d'après M. Coriolis, la valeur du cheval-vapeur en force hydraulique s'élève à 800 et 1000 fr. Selon M. Coriolis encore, *Reynolds* et *Fulton* avaient demandé la solution du problème à un système de plans inclinés auto-moteurs; l'ingénieur français *Mercadier* avait proposé des écluses à chariot. *Solage* et *Bossut* avaient décrit et proposé des écluses à sas mobile; *Bétancourt* avait proposé une écluse à flotteur et à contre-poids, et M. *Burdin* avait étudié une écluse à piston et à siphon. Enfin un inventeur fécond, M. *Thilorier*, avait proposé de rendre au bief d'amont l'eau dépensée par chaque écluse, au moyen d'une force auxiliaire (le vent ou les chevaux).

Dans un projet de rapport à l'Académie des sciences, projet que la mort ne lui a pas laissé achever, Coriolis disait :

« Le moyen imaginé par M. *Girard* (1842) diffère assez de tous ceux qu'on vient « d'indiquer pour constituer une nouvelle invention. Il participe à la fois du système « à flotteur de Bétancourt et du système à siphon de M. Burdin.

« A côté du sas, M. Girard établit un large puits ou bassin rempli d'eau sur une « assez grande profondeur ; une caisse pneumatique, soutenue par un flotteur vide,

« contient elle-même de l'eau jusqu'à un certain niveau et en quantité suffisante pour « remplir le sas. Lorsque celui-ci est vide et qu'on veut le remplir, le niveau dans le « flotteur est d'une petite hauteur, 0m,05 environ, au-dessus de celui du sas, c'est-à- « dire du bief inférieur. De grands siphons..... pouvant, par l'ouverture de robinets, « mettre en communication le liquide qui est contenu dans la caisse flottante et celui « du sas, l'écoulement s'opère de la première capacité dans la seconde ; mais dès que « cet écoulement commence, le niveau dans la caisse flottante tend à s'abaisser ; « celle-ci, perdant une partie de son poids, se relève d'une certaine quantité, laquelle « dépend des rapports établis entre la superficie de l'eau qu'elle contient et celle de « l'eau sur laquelle elle flotte dans le puits. Il est facile de calculer ces rapports de « de telle sorte, que le niveau de l'eau dans la caisse se relève de la même quantité « que celui du liquide contenu dans le sas. *C'est en cela que consiste l'idée principale « qui fait le mérite de l'invention de M. Girard.* »

Le mouvement commencé se continue jusqu'au moment où l'on opère la fermeture des robinets, « quand l'eau dans le sas est à 0m,10 environ au-dessous du niveau « du bief supérieur ; celui du liquide dans la caisse flottante étant alors à 0m,05 seu- « lement au-dessous de ce même niveau. » L'éminent rapporteur décrit ensuite le passage du bateau dans le bief supérieur, après ouverture des portes d'amont ; puis la manœuvre, en sens contraire, pour opérer la descente d'un bateau.

« Les formules montrent, dit-il, que les dimensions à donner au puits et au flotteur « sont une des difficultés de la réalisation des idées de l'auteur. » M. Coriolis a soin de faire remarquer en même temps « qu'il ne considère pas ces dimensions comme « devant rendre le système impraticable. »

En février 1845, M. *Poncelet*, rapporteur, après avoir cité *in extenso* le rapport ébauché par Coriolis, disait :

« Les heureuses modifications, les simplifications notables apportées par l'inventeur « à ce même système, dans sa note du 2 décembre 1843, nous paraissent mériter à un « haut degré l'attention des ingénieurs et de l'Académie. »

Substituant des siphons renversés et fixes aux siphons supérieurs et mobiles du projet de 1842, « l'auteur, dit M. Poncelet, remplace le plongeur par une capacité de « mêmes forme et dimensions que le bassin supérieur, destinée à recevoir l'eau du « bief d'aval au moyen d'un siphon renversé entièrement fixe, et dont la branche « verticale correspondante traverse à la fois le radier du puits et le fond du bassin « inférieur, muni à cet effet de garnitures en cuir. »

M. Poncelet décrit ensuite le mode similaire de communication de la capacité flottante avec le bassin supérieur, avec cette différence qu'un tube formant fourreau ou manchon traverse les deux fonds, l'un inférieur, l'autre supérieur, de la capacité flottante que ce dernier divise en deux compartiments d'égal volume, et livre passage à l'eau venant du bassin supérieur pour se rendre dans le compartiment supérieur de la capacité flottante ou « caisson prismatique divisé par un diaphragme en deux com- « partiments distincts, communiquant avec l'air extérieur..... Un flotteur placé à la « surface de l'eau du compartiment inférieur indique la hauteur relative de l'eau « dans ce compartiment, ou son épaisseur.

« Des clapets établissent ou interrompent la communication entre les deux compar- « timents du caisson flottant et les biefs respectifs. » Ils sont manœuvrés à l'aide d'un appareil à déclic et à levier, dont le flotteur peut régler la manœuvre à la fin de chacune de ses oscillations.

« Si l'on suppose, dit l'illustre rapporteur, que, les niveaux des biefs étant inva-

« riables, on donne à chacun des compartiments prismatiques du caisson une hau-
« teur égale à la distance entre ces niveaux, hauteur qui constitue la chute à
« franchir, et une section horizontale équivalente à celle du sas et de l'espace demeuré
« libre dans le puits, on aura toutes les données nécessaires pour saisir la ma-
« nœuvre. »

Après avoir expliqué comment l'introduction d'une tranche d'eau d'épaisseur ϖ, dans chacun des compartiments, répond à une élévation ou à un abaissement absolu égale à cette même hauteur ϖ, M. Poncelet fait ressortir les avantages du nouveau système de M. Girard, par rapport à celui que ce dernier avait communiqué en 1842 :

Plus grande rapidité de manœuvre, moindre amplitude dans le mouvement, profondeur moindre du puits, réduction considérable de la hauteur pour tout l'appareil flottant, « la profondeur du puits et la hauteur du caisson se trouvant réduites au « double seulement de la chute maximum. »

« Dans ce système, la perte par éclusée ne surpasserait guère celle que suppose « une tranche d'eau de même section que le sas et d'une épaisseur de $0^m,20$..... « Quand on voudra d'ailleurs économiser le temps, on le pourra en sacrifiant une plus « grande partie de la masse liquide. »

Après avoir remarqué que le système trouverait son application la plus avantageuse dans le cas des grandes chutes, l'éminent rapporteur examine et discute les objections, en indiquant pour chacune d'elles une solution (variation de niveau des biefs, oscillation des niveaux, etc.).

Il donne enfin un exposé aussi complet que savant des « conditions mathématiques « du nouveau système d'écluse proposé par M. Girard, pour être appliqué :

« Aux *écluses simples*, aux *sas éclusés doubles*, aux *sas accolés triples*.

« En résumé, dit M. Poncelet, la combinaison entièrement neuve imaginée par « M. Girard, et qui consiste à emprunter à deux biefs séparés par un sas éclusé or-« dinaire, pour la leur rendre intégralement ensuite, l'eau nécessaire à la manœuvre « d'un caisson à double compartiment, d'où résultent l'élévation et l'abaissement « alternatifs du niveau du sas, est une des plus heureuses idées mécaniques qui « aient été produites dans ces derniers temps. Il y a lieu d'espérer qu'elle en de-« viendra bientôt une des plus utiles pour les besoins et le perfectionnement de la « navigation. »

On espère depuis dix-huit ans !! et voici pourquoi :

M. Girard avait reçu le prix de mécanique, fondation Montyon, et, dans un élan louable, il avait cru devoir livrer son invention au domaine public, en renonçant à la mettre sous la protection d'un brevet.

N'y a-t-il pas dans ces faits un victorieux argument à opposer à ceux qui ont voulu ouvrir une campagne contre la propriété temporaire de l'invention industrielle ? Cette espérance, déçue pendant dix-huit années, ne peut-elle servir à faire comprendre que la suppression des brevets aurait pour l'un de ses déplorables résultats (sans vouloir parler des autres aujourd'hui) la transformation en COMMUNAL, en lande inculte, complétement stérile, ou des plus maigres tout au moins, des champs qui peuvent devenir et deviennent souvent beaux quand on les laboure, quand on les cultive avec ardeur et constance, dès que l'on est assuré de récolter pour soi et les siens; qui deviennent, au contraire, forcément et rapidement misérables quand ils appartiennent à LA COMMUNE, c'est-à-dire quand tous se tiennent pour exonérés du soin de cultiver et de féconder ce qui est la propriété de tous, ce qui dès lors n'intéresse suffisamment personne ? Je vais prouver,

par une simple comparaison, qu'en disant ainsi je ne fais pas une hypothèse de fantaisie : le système *non breveté* d'écluse à flotteur hydraulique et à sas fixe, de notre collègue Girard, attend encore sa première application; vous savez tous ce que sont devenues les turbines de M. Girard, dans ses mains, dans celles de M. Callon [1].

Que si l'on voulait dire : le système d'écluse de M. Girard est resté stérile, parce qu'il n'était point applicable, je répondrais :

Si l'avis de notre maître, M. Poncelet, ne vous a pas suffi, lisez d'abord un discours prononcé par M. *Ardant*, député et officier supérieur du génie, le 13 février 1846, dans lequel cet homme si compétent apprécie l'invention Girard, après avoir su introduire le grand nom de *Vauban* au premier rang entre ceux qui ont étudié et résolu d'une manière plus ou moins satisfaisante le même problème d'économie de l'eau dans les manœuvres des écluses. Écoutez ensuite la réponse de M. Dumont, alors ministre des travaux publics :

« L'administration a été frappée des avantages de l'invention exposée à la chambre « par l'honorable M. Ardant; elle a acheté le secret de M. Girard; elle l'a soumis à « une commission prise dans l'Institut, pour en apprécier la valeur scientifique. Dès « que l'opinion de cette commission m'a été connue, j'ai soumis l'invention à l'examen « d'une commission du conseil des ponts et chaussées, pour pouvoir en apprécier la « valeur applicable. Je viens de recevoir le rapport de cette commission des ponts et « chaussées. Dès que les conclusions de ce rapport auront été approuvées par le « conseil, *l'intention de l'administration est de faire en grand l'essai du système de « M. Girard.* »

Cette intention est-elle morte? ou bien, âgée de dix-huit ans, est-elle aussi jeune encore qu'à sa naissance?

Peut-être il serait facile de prouver qu'il fût advenu tout autrement du système de notre collègue M. Girard, s'il avait pu céder son invention *brevetée* à tel ou tel capitaliste bien connu.

Alors, au lieu d'avoir à opposer au système ingénieux de M. Seiler l'écluse à sas mobile de Taunton, construite par des Anglais, inventée, paraît-il, par Solage et Bossut, on aurait pu, dans votre dernière séance, mettre en parallèle avec le sas mobile de M. Seiler, soulevé et supporté par des cloches de gazomètres remplies par un volume d'air comprimé qui passe alternativement de la cloche d'aval à la cloche d'amont, *et vice versâ*, le système à flotteur hydraulique et à sas fixe de M. Girard.

M. Faure en terminant dépose sur le bureau un exemplaire du rapport de M. Poncelet et du discours de M. Ardant.

M. Revin donne ensuite communication de sa note sur les ressorts à boudin.

Quand on considère l'énorme quantité de ressorts employés dans les chemins de fer, on est frappé de l'importance de l'économie qui résulterait d'une réduction, même faible, de leur poids.

M. Revin pense que sous ce rapport on a tiré des ressorts à lames tout le parti possible; leur volume ne dépasse guère actuellement le volume théoriquement né-

1. Il serait très-juste de faire remarquer, en outre, que les turbines Girard, si répandues aujourd'hui, ont été inventées parce que les beaux et nombreux succès de la *turbine Fourneyron, brevetée*, avaient appelé l'étude et l'attention sur les roues à axe vertical trop négligées pendant bien longtemps.

cessaire; mais il croit qu'on pourrait obtenir, par de nouvelles dispositions, une réduction de poids très-importante; il suffirait pour cela de faire des ressorts travaillant par torsion.

Le volume d'un ressort composé d'une tige rectiligne, et soumis à l'action d'une force dirigée suivant son axe longitudinal, est donné par la formule suivante:

$$Q = \frac{P.cE}{F^2} \qquad (1)$$

dans laquelle P est la charge normale du ressort;
— c la course du ressort pour cette charge;
— E le coefficient d'élasticité;
— F la tension des molécules sous la charge P.

Si le ressort se compose d'une tige prismatique travaillant par flexion, pourvu que dans toutes les sections normales à la fibre moyenne les molécules les plus fatiguées travaillent également, le volume est donné par la formule

$$Q = \frac{P.cE}{F^2}\left(\frac{v}{\rho}\right)^2, \qquad (2)$$

dans laquelle v est la demi-épaisseur de la tige;
— ρ^2 le quotient de la division du moment d'inertie par la section, ce moment d'inertie étant pris relativement à un axe situé dans le plan de la section considérée et passant par son centre de gravité.

On voit que dans cette hypothèse le volume est égal à celui donné par la formule (1) multipliée par la quantité $\left(\frac{v}{\rho}\right)^2$ qui est égale à 3 pour une section rectangulaire ou carrée, et à 4 pour une section circulaire.

De l'examen de la formule (2) on déduit que le volume d'un ressort travaillant par flexion est proportionnel au cofficient d'élasticité, et que pour une même valeur de F, c'est-à-dire pour une même tension par unité de surface, on a avantage à avoir un faible coefficient d'élasticité.

Or on sait que le coefficient d'élasticité de torsion est environ le tiers de celui de traction; si donc, la formule qui donne le volume d'un ressort travaillant par torsion se présente sous la forme de celle du ressort travaillant par flexion, il est clair que, toutes choses égales d'ailleurs, le premier ressort sera trois fois plus léger que le second.

M. Revin a trouvé pour le cas de la torsion la formule suivante:

$$Q = \frac{PcG}{F^2}\left(\frac{v}{\rho}\right)^2, \qquad (3)$$

dans laquelle G est le coefficient d'élasticité par torsion;
v la distance du centre de gravité de la section à la fibre la plus fatiguée;
ρ le rayon de giration.

Ainsi, abstraction faite de la quantité $\left(\frac{v}{\rho}\right)^2$, le ressort travaillant par torsion

serait trois fois plus léger que les ressorts à lames actuels ; mais la quantité $\left(\frac{v}{\rho}\right)$ rend encore le résultat plus favorable.

En effet, cette quantité est égale à 2 pour la section circulaire, et à 3 pour la section rectangulaire ou carrée.

Si, par conséquent, on prend dans les formules (2) et (3) $\left(\frac{V}{\rho}\right)^2$ la plus favorable dans chaque cas particulier, elles deviennent :

$$Q_1 = \frac{PcE}{F^2}\,3 \text{ pour la flexion,}$$

$$Q_2 = \frac{PcG}{F^2}\,2 \text{ pour la torsion ;}$$

d'où on tire

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{E}{G}\,\frac{3}{2} = \frac{9}{2} \text{ puisque } E = 3G.$$

Ainsi un ressort travaillant par torsion serait plus de quatre fois plus léger qu'un ressort à lames travaillant par flexion. L'emploi de ce genre de ressorts constituerait par conséquent une économie très-importante.

M. Revin indique, comme forme pratique, celle connue sous le nom de ressort à boudin, appliquée de façon que la force passe toujours par l'axe du ressort. Il suffirait, pour réaliser cette condition, que les deux extrémités du boudin vinssent se terminer dans l'axe même du ressort, et que la force y fût directement appliquée.

M. Revin montre ensuite comment il a déduit du ressort à boudin la formule (3).

Il a supposé, d'après M. Desmousseaux de Givré, le ressort divisé en une infinité de petits disques déterminés par des plans passant par l'axe longitudinal du ressort. Sous l'action de la force agissant sur le ressort, ces petits disques ont à résister à un effort de torsion, sans flexion, et à un effort tranchant dont on pourrait facilement se rendre compte, mais qu'on peut négliger. — M. Revin suppose, en outre, que ces petits disques sont invariables de forme ; hypothèse, selon lui, tout aussi admissible que celle que l'on fait pour la torsion d'une barre prismatique.

Il trouve alors que la flexibilité du ressort à boudin est, pour une charge de 1 kil. :

$$f = \frac{2\pi R^3 n}{GI}.$$

Dans cette formule, que l'expérience vérifie avec assez d'exactitude,

R est le rayon de la spire ;
n le nombre de spires ;
G le coefficient d'élasticité de torsion ;
I le moment d'inertie de la section relativement à un axe perpendiculaire à son plan et passant par le centre de gravité de cette section.

(Dans la pratique, on peut ne pas tenir compte de la légère différence qui existe entre ce moment d'inertie et celui d'une section faite normalement à la fibre moyenne.)

Cette formule, combinée avec l'équation des moments, permet d'établir un ressort

satisfaisant à des conditions données. — Les formules auxquelles on est conduit sont simples et faciles à appliquer.

M. Faliès présente ensuite à la Société deux spécimens de traverses en tôle du système Faliès et Chollet, et développe les avantages qui, dans son opinion, résulteraient de leur application dans les chemins de fer. Le bois, malgré les préparations destinées à le conserver, pourrit vite lorsqu'il est exposé aux alternatives de sécheresse et d'humidité. Les traverses de chêne durent de 5 à 15 ans suivant la qualité et le lieu d'emploi ; d'ailleurs le bois devient de plus en plus cher et rare ; le renouvellement continu ou périodique des traverses devient par tous ces motifs une dépense de jour en jour plus importante.

M. Faliès croit que l'emploi de son système de traverses réduirait notablement les frais annuels d'entretien.

La traverse en question se substitue simplement au bois en conservant de la voie actuelle toute la partie métallique, même le mode d'attache.

Elle se compose d'un fer laminé en forme d'auge renversée. La section de ce fer détermine un trapèze dont la base supérieure a une largeur de $0^m,10$ suffisante pour recevoir le coussinet, et la base inférieure une largeur de $0^m,26$ nécessaire pour répartir convenablement la pression. De distance en distance, des cloisons en tôle rivées aux parois inclinées maintiennent celles-ci en même temps qu'elles limitent les espaces destinés au bourrage du ballast.

Des tasseaux en bois ou des platines en fer taraudées servent à recevoir les tire-fonds qui fixent les coussinets ou le patin des rails et des éclisses. Les tire-fonds peuvent au besoin être remplacés par des rivets.

Les platines en fer ont l'avantage de supprimer complétement le bois ; mais il est à craindre qu'une fois les tire-fonds rouillés, il ne soit plus possible d'enlever le coussinet, ce qui est indispensable pour la facilité de l'entretien, surtout en cas d'accident, lorsqu'un déraillement, par exemple, a occasionné la rupture d'un grand nombre de coussinets qu'il faut remplacer rapidement.

Avec les tasseaux en bois, dont le cube par traverse n'atteint pas $0^m,010$, on peut enlever un coussinet aussi facilement que s'il s'agissait d'une traverse ordinaire, et on a de plus l'avantage de conserver le tire-fond actuel, considéré comme un très-bon mode d'attache.

Stabilité. On sait qu'entre les deux files de rails, les traverses sont peu ou point bourrées, sur environ $0^m,80$ de longueur.

Ceci posé, si on suppose pour la traverse en tôle $2^m,40$ de longueur, on voit que la surface d'appui sur le ballast bourré sera $(2.40 - 0.80) \times 0.26 = \ldots\ldots$ 0.416

Une traverse en bois de $2^m,70$ de longueur et $0^m,21$ de largeur aurait. . 0.399

La surface est donc sensiblement égale; mais outre que les traverses en bois n'ont jamais la largeur de $0^m,21$ prescrite, il est impossible de maintenir le bourrage sous toute leur largeur, le ballast cède toujours sur les bords, ce qui ne pourra pas avoir lieu avec les traverses en tôle.

Les traverses en tôle, à cause de leurs cloisons transversales, offriront une résistance plus grande que celles en bois aux déplacements latéraux.

Élasticité. Les dimensions et la forme des traverses métalliques permettent aux forces élastiques de réagir comme dans les traverses en bois.

Il est donc permis d'espérer qu'on aura la même douceur pour la voie.

Durée. La cause inconnue qui préserve les rails de l'oxydation agira sans doute de

même sur les traverses, et M. Faliès ne croit pas exagérer en leur supposant une durée de 50 ans.

Prix de revient. Une traverse en tôle et fer laminé de $2^m,40$ de longueur, de $0^m,08$ de hauteur et de trois millimètres 1/2 d'épaisseur, pèsera environ $24^k,50$, qui, à 0 fr. 30, coûteraient . . . . . 7 fr. 35

A quoi il faut ajouter 1 fr. 15 pour les deux tasseaux en bois de $0^m,0096$ à 120 fr. 1 15

Total. 8 50

Une traverse en chêne de $2^m,70$ sur 0.21 coûte 6 fr. 50.

La traverse métallique ne coûte donc que 2 fr. plus cher.

Avantages des traverses métalliques. Leur durée, cinq fois plus grande que celle des traverses en bois, permet d'économiser quatre réfections sur cinq.

Elles maintiennent d'une manière permanente la largeur de la voie, et évitent les resabotages partiels qu'exigent les traverses en bois.

L'assiette des traverses métalliques sera uniforme comme leurs dimensions, et on sera par ce fait dispensé des relevages partiels qu'exigent les traverses en bois, dont les dimensions sont très-variables.

M. Faliès admet que toutes ces causes réunies réduiront de beaucoup la main-d'œuvre d'entretien ; il n'admet qu'une diminution d'un quart pour tenir compte du renouvellement des tasseaux en bois.

En résumé, malgré leur prix d'acquisition plus élevé, à cause de leur grande durée et des économies qu'elles permettront de réaliser sur la main-d'œuvre d'entretien, M. Faliès arrive à trouver que leur emploi permettrait de réaliser une économie annuelle de 1,376 francs par kilomètre de double voie sur l'emploi des traverses en bois.

M. Petiet fait remarquer que les prix des traverses en bois ont notablement baissé dans ces derniers temps et qu'on peut aujourd'hui s'en procurer à 5 francs au lieu de 6 fr. 50 qu'indique M. Faliès. La différence entre la traverse en bois et celle en métal serait dans ce cas de 3 fr. 50, en admettant qu'on puisse se procurer ces dernières à 30 fr. les 100 kilogr.

M. Nozo, examinant les divers modes de fixation proposés pour les rails, croit que la vis taraudée dans la doublure en fer de la traverse s'enlèverait difficilement après un certain temps de service. Quant à la rivure, elle doit, selon lui, être rejetée d'une manière absolue à cause des difficultés qui en résulteraient pour l'entretien. Il pense qu'un boulon à tête rectangulaire, qu'on entrerait dans une rainure de la traverse, et auquel on ferait faire un quart de tour lorsqu'il serait arrivé à sa position définitive, donnerait un serrage énergique; l'écrou étant au-dessus pourrait être facilement resserré, et le boulon lui-même serait aisément remplacé.

M. Faliès ne croit pas que la rivure complique beaucoup l'entretien, il suffirait de constituer les approvisionnements kilométriques avec des traverses toutes sabotées ; de cette façon, on pourrait, même en cas d'accident, remplacer presque instantanément un assez grand nombre de traverses en réunissant les approvisionnements kilométriques voisins du lieu de l'accident.

M. Faure fait remarquer que les vibrations dans les rails sont longitudinales, et résultent d'une action directe, tandis que dans les traverses l'action est indirecte, et perpendiculaire à leur direction, double motif pour qu'elles aient une influence beau-

coup moins importante. Par suite, il est moins rassuré que M. Faliès sur la non-oxydation des traverses métalliques.

M. Faliès a fondé son opinion à cet égard sur l'observation qu'il a faite que les contre-rails ne s'oxydent pas plus que les rails. Il a remarqué également que les entretoises d'écartement des plateaux-coussinets du système Henry, essayés au chemin de fer de l'Ouest, ne s'étaient pas oxydés. Les traverses métalliques paraissent placées dans des conditions tout à fait analogues à celles des entretoises, et il se croit fondé à attendre le même résultat.

MM. Bonnaterre, Delannoy, David (Augustin), Carimantrand et Tresca (Alfred), ont été reçus membres de la Société.

Séance du 8 Mai 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. le Président annonce que la Société a reçu un mémoire de MM. Sébillot et Mauguin, sur un projet de distribution d'eau de Seine dans Paris, au moyen d'un canal de dérivation entre Asnières et Besons. Ce canal, de 5 kilomètres de longueur, permettrait de créer une chute de $2^m,50$ à $2^m,80$ en étiage et de $1^m,70$ pendant les hautes eaux, qui ne durent que peu de temps, et il serait possible d'y installer des moteurs hydrauliques continus. La prise d'eau d'Asnières serait à proximité des réservoirs qui seraient établis sur les hauteurs de Montmartre. Les nouvelles eaux seraient consacrées au service public de la voirie, et l'on conserverait pour l'alimentation la dérivation projetée des sources de la d'Huis.

L'examen de ce mémoire est renvoyé à M. Faure, en même temps qu'un travail sur le même sujet, par M. Aristide Dumont, qui propose d'établir en amont de Paris une prise d'eau avec machine à vapeur.

M. le Président renvoie à M. Verrine une note de M. Lopez Bustamante, sur un projet de matériel de chemin de fer à petites courbes; et à M. Eugène Flachat, une communication de M. Alexis Barrault sur un projet de traversée du Simplon par. M. Jaquemin, et un mémoire de M. Tony-Fontenay sur l'emploi de galeries inclinées pour l'attaque du percement des souterrains.

M. Sieber a adressé à la Société une note sur le durcissement des rails par la compression pendant le refroidissement, après laminage. Dans une première note qu'il avait présentée il y a quelque temps sur le même sujet, M. Sieber se basait sur l'observation de la durée comparative de rails provenant d'usines à outillage puissant, laminant rapidement à haute température, et de rails laminés à température plus basse dans les usines ayant conservé l'ancien matériel. Ses observations ne paraissent pas avoir été acceptées. Néanmoins M. Siéber a continué ses recherches, et soumet aujourd'hui de nouveaux faits remarquables à l'examen de la Société. Sa note est renvoyée à M. Goschler, qui se charge d'en rendre compte.

M. le Président, ayant visité récemment à Chartres une exposition agricole, donne quelques renseignements sur trois machines qui ont été particulièrement remarquées.

Ce sont la machine à piocher de MM. Kientzy et Garnier, la machine à labourer de M. Lotz, de Nantes, qui est construite sur le principe de Fowler, mais avec deux socs au lieu de quatre; ces deux machines ont très-bien travaillé; et enfin une machine nouvelle, ayant pour objet de séparer la graine de son enveloppe, en donnant la paille en long. Elle se compose d'un cylindre en fonte cannelé et de trois rouleaux garnis de caoutchouc, ayant des vitesses différentes de celles du cylindre. Comme produit, cette machine pourrait peut-être arriver au même résultat que les batteuses en travers; mais elle aurait l'avantage de conserver la paille aussi bien que les batteuses en long, auxquelles on reproche leur faible débit.

M. Faure donne quelques détails sur la piocheuse à vapeur de M. Kientzy, qu'il a vue fonctionner récemment à la ferme de l'Empereur, près de Joinville-le-Pont. Cette machine intéressante a accompli, dans les Landes, un défrichement des plus satisfaisants, dit-on, sur une étendue de 50 hectares.

M. Faure croit juste de rappeler les longs et persévérants efforts des frères Barrat, appliqués à l'étude et à la création d'une machine fondée sur le même principe, et dont le premier spécimen a été construit par M. Kientzy, sous la direction et sous l'inspiration directe de MM. Barrat. Elle avait plus d'une analogie avec l'appareil qui a été expérimenté récemment à Vincennes; mais elle en différait surtout par le mode d'installation des piocheuses. M. Faure a vu cette machine en construction chez M. Kientzy, et il avait remarqué la combinaison ingénieuse, *mais trop délicate*, au moyen de laquelle MM. Barrat transformaient le mouvement circulaire continu de l'arbre moteur en un mouvement alternatif des piocheuses mécaniques tout à fait identique à celui de la pioche maniée par la main de l'homme.

Dans la machine piocheuse de MM. Kientzy et Garnier, l'arbre qui met en mouvement les fers piocheurs est un arbre à cinq manivelles coudées, chacun des mannetons s'articulant avec un long levier ou manche, qui porte, à droite et à gauche du coussinet d'articulation et au voisinage immédiat du manneton, un fer de pioche ajusté à boulon. Ainsi, dix couples de pioches, assemblés sur cinq manches ou leviers, travaillent simultanément, conduits par l'arbre coudé. Un arbre parallèle à celui-ci et installé à l'arrière de la machine, porte cinq leviers, qui, articulés eux-mêmes avec les manches des pioches et animés d'un mouvement circulaire alternatif, donnent à ceux-ci le mouvement voulu pour le travail de ces dernières.

Cette installation simple et solide explique à elle seule le succès de la piocheuse Kientzy. M. Faure, avec quelques membres de la Société, a pu suivre pendant trois heures consécutives la marche de cet appareil, progressant avec une vitesse régulière de 10 à 12^{m},00 par minute, dans *un terrain assez léger, il est vrai, et de nature sablonneuse*, qui était régulièrement défoncé et *complétement ameubli* sur une profondeur de 25 à 30 centimètres. Un mécanicien et son aide, un conducteur des pioches, pouvant agir sur elles, les relever ou les abaisser graduellement pendant la marche, au moyen d'un levier manœuvrant sur un treuil dont la chaîne agit sur l'ensemble des leviers ou des manches de pioches, en tout trois hommes, desservent cet appareil. La chaudière, les cylindres à vapeur avec leurs accessoires, et une transmission de mouvement assez complexe, sont portés sur un train spécial muni de quatre roues à petit diamètre, à jante très-large. Une chaîne de Galle, de très-fortes dimensions, transmet le mouvement à l'arbre coudé et au train qui porte les pioches avec leurs accessoires, le tout formant un train à deux roues légères de grand diamètre.

L'ensemble marche très-régulièrement, décrivant, chaque fois que la machine atteint

dans un sens ou dans l'autre l'extrémité du champ en voie de défrichement, un demi-cercle dont le rayon grandit successivement. C'est dire qu'elle attaque le sol par une bande ou zone centrale, qui va en s'élargissant successivement à droite et à gauche, et qui est toujours terminée par deux parties demi-circulaires.

Dans les trois heures de travail que M. Faure a pu suivre, il a vu la machine s'arrêter de trois quarts d'heure en trois quarts d'heure, pour alimenter la chaudière au moyen de seaux d'eau. Deux fois seulement elle a été arrêtée par deux obstacles dans le sol en travail. Les fers d'un couple avaient butté contre deux pierres siliceuses d'un volume assez considérable, qu'ils avaient déchaussées. L'une de ces pierres avait été épaufrée vigoureusement sans que les fers de pioche se fussent rompus.

M. Faure, tout en constatant la bonne marche et l'heureuse installation des outils dans la piocheuse Kientzy, croit devoir remarquer que la machine, dans son ensemble et dans ses détails de construction, paraît bien loin d'être irréprochable.

M. le Président a remarqué que la chaîne de Galle, qui transmet le mouvement à l'arbre des pioches, est soumise à des efforts considérables qui l'allongent constamment, bien qu'elle ait été renforcée à plusieurs reprises. Dans le labourage à la vapeur, il faut établir une différence entre les machines qui se transportent sur le terrain, comme la piocheuse, et celles qui, comme la machine Fowler, restent à poste fixe à l'extrémité du champ. Dans le premier cas, en admettant que la machine pèse 8000 kil., sur un terrain donnant une résistance de 1/10, et qu'elle ait à remonter une rampe de 1/20, avec une vitesse de $0^m,40$ en $1''$, on aurait à dépenser un travail de 480 kilogrammètres par mètre pour le seul transport de la machine, outre la résistance au labour ; tandis que, dans le cas de la machine fixe, la résistance est sensiblement réduite à celle du labour, quelle que soit l'inclinaison du terrain. La manœuvre est d'ailleurs facile avec les appareils de transmission nouvellement établis. Il y a donc lieu de penser que le système Fowler sera le plus économique.

M. Faure est disposé à conclure comme M. le Président, en ce qui concerne le labourage ou les façons de labour, mais il croit la piocheuse appelée à un avenir sérieux au point de vue des défrichements et du défonçage.

M. Ganneron, membre de la Société, s'est attaché avec zèle et persévérance au développement et à l'avenir de la piocheuse à vapeur de M. Kientzy. M. Faure a demandé pour la Société des Ingénieurs civils, et M. Ganneron a bien voulu promettre, une note développée sur cet appareil et sur le travail qu'il a exécuté déjà.

Séance du 22 Mai 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Ferdinand Mathias, qui, au nom de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille, demande l'échange des mémoires de cette Compagnie, contre les bulletins de la Société. M. F. Mathias joint à cette lettre 9 volumes de la seconde série des mémoires en question.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Brocchi (Charles) et Steger, membres de la Société.

M. MOLINOS donne communication de sa note sur le chemin de fer de la Croix-Rousse.

Le chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse a été construit dans le but de relier le quartier le plus populeux de Lyon, les Terreaux, au plateau de la Croix-Rousse, situé à une altitude considérable au-dessus de la presqu'île lyonnaise. L'importance de la circulation qui s'élève, dans la seule rue de la Grande-Côte, à 30,000 personnes par jour, le trafic considérable des marchandises et objets de consommation nécessaires à une population d'environ 40,000 âmes qui tire presque tout de Lyon, ont donné l'idée de ce chemin de fer. C'est un plan incliné de 489m,20 de longueur, la hauteur totale à franchir est de 70 cent., et la pente par mètre, en déduisant le palier des gares, est de 0m,1605 par mètre.

Le programme posé aux ingénieurs par les promoteurs du projet était complexe et exige quelques développements à cause de l'influence considérable qu'il a exercée sur les dispositions principales du projet. Dès l'origine de l'entreprise, on a reconnu que le transport des marchandises entre Lyon et la Croix-Rousse aurait une importance au moins égale, sinon supérieure, à celle du trafic des voyageurs. L'exploitation du chemin de fer devait donc se prêter à ce double service sans sacrifier l'un aux exigences de l'autre. L'installation du service des voyageurs ne présentait pas de difficultés dans son ensemble; on peut concevoir, en effet, une machine mettant un tambour en mouvement; sur ce tambour s'enroule un câble, de telle sorte que, le tambour tournant dans un sens déterminé, un brin du câble s'enroule et monte sur le plan incliné, tandis que l'autre se déroule et descend. Un train est attaché à chaque extrémité de ce câble, de manière qu'une période déterminée de révolutions du tambour détermine une montée et une descente simultanées. En faisant tourner le tambour en sens contraire, on produit le mouvement inverse. C'est une combinaison simple, et qui fournissait une solution sûre et satisfaisante.

Le service des marchandises présentait de bien autres difficultés. Il était impossible en effet de fonder ce service sur les analogies présentées par les autres lignes de chemins de fer. En premier lieu, on ne pouvait songer à un transbordement qui aurait absorbé, en frais de manutention, en magasinage sur des terrains chers, en pertes de temps inévitables, l'économie d'argent et de temps que pouvait offrir le nouveau chemin de fer. Cette solution, après examen, a dû être absolument repoussée. Les ingénieurs ont donc été conduits à considérer le plan incliné comme une sorte de bac destiné à franchir la différence de niveau de 70 mètres, comme un bac permet de franchir une rivière. Dans cet ordre d'idées, un train de marchandises devait se composer d'un certain nombre de trucs disposés pour recevoir des voitures toutes chargées, et les transporter, sans déchargement, sans manutention aucune, autre qu'une manœuvre très-simple pour les fixer solidement. Il était également impossible de songer à confondre dans un même train des voitures à voyageurs et des trucs à marchandises. Eu égard à la brièveté de la ligne, le service des voyageurs devait être analogue à un service d'omnibus et offrir au public des trains très-fréquents. On avait compté faire un train toutes les 10 minutes environ, on a été conduit à en faire toutes les 5 ou 6 minutes. Il est clair que le temps nécessaire pour installer un train de marchandises aurait grandement embarrassé le service des voyageurs et causé un préjudice grave aux intérêts du public et de la Compagnie.

L'ensemble de ces conditions semblait conduire à l'exécution de deux chemins de

fer à deux voies chacun, accolés, destinés, l'un au service des voyageurs, l'autre au service des marchandises. Mais cette solution complète et radicale était incompatible avec les prévisions de dépenses de la Compagnie, et en fait, l'exécution d'un chemin à quatre voies, au milieu d'une ville, rencontrant des immeubles nombreux, et d'un prix élevé, aurait été hors de proportion avec le but de l'entreprise.

Les ingénieurs se sont arrêtés à une combinaison nouvelle, qui réunit les avantages de l'économie à ceux d'une exploitation sur quatre voies.

Elle consiste à ramifier les deux voies principales en quatre, à chaque extrémité de la ligne. Les deux voies intérieures sont destinées au service des voyageurs, les deux voies extérieures, au service des marchandises. Le tronçon commun doit donc recevoir à la fois, à l'aide d'une disposition que nous exposerons tout à l'heure, le câble des voyageurs et celui des marchandises. Chaque câble est mis en mouvement par une machine séparée.

Le service des marchandises est ainsi relégué sur les côtés des gares et complétement distinct de celui des voyageurs; on peut préparer un train de marchandises avec le temps nécessaire, sans aucune préoccupation de retarder ou de troubler le service des voyageurs. Lorsque le train est prêt et qu'on veut le faire monter, on ouvre les croisements de voie qui mettent les quatre voies de marchandises en communication avec le tronçon commun, et on enlève le train pendant le temps que le train de voyageurs a mis à se remplir, et sans augmenter sensiblement la durée normale du stationnement.

Cette combinaison présentait deux difficultés techniques. La première consistait dans la coexistence de deux câbles sur le tronçon commun; la seconde, dans le croisement de voies qui doit permettre au train de marchandises de passer sur le câble immobile des voyageurs. La première difficulté a été résolue en reportant la traction du train et l'attache du câble à $0^m,08$ de l'axe des wagons, ce qui n'a présenté aucun inconvénient, de telle sorte que les axes des câbles soient séparés de $0^m,16$. Quant au croisement, pour qu'il fût possible, il suffisait que le câble immobile reposât sur des poulies verticales, inférieures au niveau du rail, de manière que, dans la manœuvre du croisement, ce dernier pût passer par-dessus. Cette condition a été remplie, et elle était d'ailleurs imposée par la nécessité de guider le câble dans les courbes de gare, au moyen de poulies verticales.

La conséquence la plus importante de ce système mixte était d'imposer des courbes de gares, et par conséquent de conduire à l'emploi de câbles ronds. C'est une nécessité à laquelle on ne pouvait se soustraire. En effet, l'emploi d'un câble plat n'était possible qu'à la condition d'un alignement droit, sans courbe aucune. Il aurait donc fallu construire un chemin à quatre voies, conservant dans toute leur étendue un espacement égal à la largeur des quais reconnue nécessaire pour le service des voyageurs, le chargement et le déchargement des voitures, etc., ce qui aurait conduit à un chemin de fer de 30 mètres environ de large, solution inadmissible à cause de l'excessive dépense qu'elle aurait entraînée.

Le câble rond imposé par la force des choses et la disposition des lieux, rendant d'ailleurs impossible l'établissement des machines en face des voies, les ingénieurs ont placé ces machines perpendiculairement aux voies, au grand avantage du service de la gare de la Croix-Rousse.

Le système général de l'exploitation et les dispositions principales du projet étaient ainsi indiquées par le programme à remplir. Les données qui en découlaient étaient les suivantes :

Les trains devaient être très-fréquents, toutes les cinq minutes environ; ils devaient pouvoir transporter en moyenne 30,000 personnes par jour.

Le mouvement présumé en marchandises pouvait atteindre 200,000 tonnes par an.

Il fallait surtout parer aux conséquences d'une rupture de câble, accident toujours possible, de manière qu'il n'en pût résulter aucun danger. Voici maintenant les dispositions principales de ce chemin de fer.

Le tracé est un alignement droit, partant à Lyon d'un terrain de l'ancien Jardin des plantes, franchissant le coteau à peu près suivant la ligne de plus grande pente, latéral à l'artère la plus fréquentée, la Grande-Côte, et aboutissant au plateau de la Croix-Rousse devant le boulevard de ceinture, et tout près de la place de la Croix-Rousse, centre de ce quartier. Les travaux d'art sont nombreux, et l'établissement de la ligne a donné lieu à des travaux de soutènement dangereux qui ont tous été exécutés avec succès.

La voie devait présenter des conditions de solidité exceptionnelles. Elle peut être, en effet, soumise éventuellement à l'action des freins que nous décrirons plus loin. C'est une voie sur longuerines avec rails Vignole, attachés aux longuerines par des crampons distants de $0^m,20$. Le système des freins interdisant l'emploi des éclisses, et les rails devant être maintenus avec précision dans le prolongement l'un de l'autre, une plaque de tôle est rivée sous l'extrémité inférieure du patin de chaque rail, et cette plaque est ajustée dans une auge fixée sur la longuerine. Les longuerines sont boulonnées avec des traverses qui portent les poulies verticales sur lesquelles repose le câble. Cette voie a parfaitement supporté les épreuves des freins.

Les machines sont des machines de mines construites au Creusot; elles sont au nombre de deux, affectées, l'une au service des voyageurs, l'autre au service des marchandises; elles sont toutes deux identiques. Ces machines sont de la force de 150 chevaux. Elles ont deux cylindres sans condensation et sans autre détente que la coulisse, la brièveté du parcours (3 minutes environ) ne permettant pas l'emploi d'une détente variable. Ces machines, devant être très-maniables, ont une très-grande course, 2 mètres; elles sont attelées directement sur le tambour d'enroulement du câble dont le diamètre est de $4^m,50$, de manière que la vitesse du piston est à peu près la moitié de celle du câble. De plus, la masse du tambour a été réduite autant que possible.

Un mécanisme *directeur* distribue le câble sur ce tambour, de manière que les brins ne puissent chevaucher les uns sur les autres. Le tambour est, en outre, muni de deux puissants freins à bande, l'un à main, l'autre à vapeur.

La vapeur d'échappement est employée à réchauffer l'eau d'alimentation dans un appareil spécial. Les chaudières sont tubulaires, timbrées à cinq atmosphères et marchent à courant d'air forcé.

Le câble supporte une tension de 9000 kil. Sa construction présentait de grandes difficultés. En effet, afin d'obtenir toutes les conditions considérables de sécurité, il était imposé de ne pas faire supporter à ce câble un effort supérieur au 1/10 de la rupture. D'un autre côté, le câble étant rond, nous devions considérer le diamètre de 6 centim., comme un maximum qu'il était impossible de dépasser. Dès lors, le câble devait rompre à plus de 90,000 kil. et supporter par millimètre carré, à la rupture un effort de plus de 120 kil. L'acier fondu seul remplissait ces conditions. Ce câble ne s'est pas comporté en service d'une manière satisfaisante et s'est promptement usé, ce qui doit être attribué surtout à la mauvaise qualité de l'acier employé, attendu qu'il n'était exposé à aucun choc et que ses conditions de résistance se rap-

prochaient exceptionnellement de celle d'un effort statique. En effet, l'effort maximum que la machine peut produire sur le câble est de 7840 kil. D'un autre côté, il n'existe entre le piston et le câble aucune masse capable d'emmagasiner une puissance vive notable; le câble est donc presque dans les mêmes conditions que s'il était appliqué directement à l'extrémité d'un piston pouvant produire au maximum l'effort ci-dessus désigné. Enfin la longueur du câble entre la machine et le train est toujours considérable. C'était donc une des applications les plus rationnelles de l'acier fondu. Néanmoins on a abaissé avec raison le coefficient de sécurité, qui à 1/10 de la rupture était trop élevé.

Le matériel roulant se compose de voitures à deux étages contenant chacune 108 personnes. Cette disposition a été adoptée pour satisfaire aux exigences du cahier des charges qui prescrivait deux classes, et surtout afin de diminuer, autant que possible, le poids mort des trains et par conséquent la traction du câble déjà si considérable. La disposition la plus neuve de ce matériel consiste dans les freins qui devaient être adaptés à un problème nouveau et difficile.

L'inclinaison du plan incliné de la Croix-Rousse est supérieure à la tangente de l'angle de frottement, c'est-à-dire qu'un wagon, toutes les roues enrayées, glisserait en acquérant une puissance vive considérable. Pour parer au danger d'une rupture de câble, il ne suffisait donc pas d'enrayer les roues, il fallait trouver une force additionnelle capable de suppléer à l'insuffisance de l'enrayage. Il fallait, en outre, que le système fût automoteur, et fonctionnât par le fait même de la rupture du câble; car on ne pouvait subordonner une manœuvre si importante à l'exactitude ou au sang-froid d'un employé. Voici les dispositions essentielles au moyen desquelles ce problème a été résolu.

Toutes les roues sont munies de freins à bandes qui peuvent être serrées par la chute de contre-poids.

En outre, chaque truc est muni en son milieu d'un système qui se compose d'un arbre portant à ses deux extrémités deux appareils identiques. Chacun d'eux consiste essentiellement en une poulie à gorge conique, calée sur l'arbre, et en deux fortes mâchoires d'étau au travers desquelles l'arbre passe avec un jeu convenable. Chaque mâchoire est reliée avec une pièce en forme de joug, formant écrou en son centre. Les écrous se vissent sur des parties filetées de l'arbre, de chaque côté de la poulie; les deux pas de vis sont en sens contraire.

Si le câble casse, le ressort de traction, en se détendant, pousse une came qui tient suspendu l'ensemble de l'appareil. Cet appareil tombe sur les rails que la poulie à gorge embraye énergiquement. Le wagon continuant à descendre, la poulie tourne avec la vis et rapproche les mâchoires de l'étau, ces dernières, en serrant le champignon du rail, produisent un frottement calculé de manière à arrêter le véhicule.

La chute de ce frein provoque celle du contre-poids des freins à bandes. Le wagon de tête du train est seul muni d'un ressort de traction. Pour assurer le fonctionnement des freins du second wagon, la came qui soutient le frein à mâchoires est reliée au moyen d'une tige, d'un tendeur et d'une manivelle, à l'arbre de support du premier frein, de manière que le premier frein tombant, sa chute entraîne forcément celle du second frein, et ainsi de suite.

Lors de la réception du chemin, de nombreuses expériences ont été faites pour démontrer l'efficacité de ce système.

On avait interposé un déclic entre le câble et le train; on mettait le train chargé du poids normal en mouvement, à la descente, avec la vitesse réglementaire

de 2 mètres. A un signal donné, on déclanchait le déclic, et le train se trouvait ainsi abandonné sur la pente dans des conditions identiques à celles qui se seraient produites lors d'une rupture de câble. Les freins fonctionnaient alors automatiquement, et arrêtaient le train sans secousse appréciable. L'espace parcouru par le train entre la chute du frein et l'arrêt était d'environ 3 mètres. Seize expériences consécutives ont démontré que le système assurait, au service du chemin de la Croix-Rousse, à la condition d'un bon entretien, la sécurité la plus absolue.

M. Henri Mathieu donne communication de la première partie d'une note de M. Flachat, sur la Comparaison entre deux tracés, l'un avec un profil à inclinaison de 15 $^{m}/_{m}$ et l'autre avec un profil à inclinaison de 25 $^{m}/_{m}$.

Le but que M. Flachat s'est proposé a été d'examiner entre deux tracés, réunissant deux points situés l'un au pied, l'autre au faîte d'un coteau, dans quel cas il convenait d'adopter, eu égard au trafic kilométrique probable, le tracé direct à rampes fortes, ou bien le tracé plus long à rampes plus faibles.

L'examen de la question conduit à cette solution, que lorsque le trafic est peu important, il y a avantage à construire le chemin direct à fortes rampes, et qu'au contraire, quand le trafic est considérable, il y a intérêt à adopter le tracé à rampes plus faibles et à développement plus long.

Cette étude s'applique à la comparaison entre deux tracés proposés pour un chemin de fer d'une grande importance, l'un de 20 kilomètres avec rampes de 25 $^{m}/_{m}$, et l'autre de 35 kilomètres avec rampes de 15 $^{m}/_{m}$. C'est ce dernier tracé qui a été adopté, contrairement à l'avis de plusieurs ingénieurs.

Pour que la comparaison soit complète, il faut faire entrer dans le calcul tous les éléments qui constituent d'une part les recettes et de l'autre les dépenses.

Il n'y a aucun calcul particulier à faire pour les recettes. Elles résultent des recettes kilométriques probables ou supposées auxquelles s'ajoute, pour le tracé le plus court, l'intérêt de l'économie dans les dépenses de construction.

M. Flachat a pris deux hypothèses : l'une d'un trafic de 40,000 fr., et l'autre de 70,000 fr. par kilomètre; le calcul a montré que, en ne tenant compte que des recettes, avec un trafic de 40,000 fr. par kilomètre, il y avait avantage à adopter le tracé direct à rampes de 25 $^{m}/_{m}$, et qu'avec un trafic de 70,000 fr. il y avait avantage à adopter le tracé à rampes plus faibles de 15 $^{m}/_{m}$.

Mais il ne suffit pas, comme nous l'avons dit, de faire la comparaison des deux tracés au point de vue seul des recettes; il faut encore tenir compte des frais d'exploitation pour chacun d'eux, afin d'arriver au produit net.

Pour cela, M. Flachat reprend deux hypothèses sur le trafic, l'une de 40,000 fr., et l'autre de 85,000 fr. par kilomètre; il calcule les frais d'exploitation incombant à chacun des deux tracés à rampe de 25 $^{m}/_{m}$ et à rampe de 15 $^{m}/_{m}$.

Pour faire ces calculs, il recherche d'abord quel sera en tonnes le trafic probable correspondant à des recettes de 40,000 et de 85,000 fr., puis quelle machine il faudra prendre eu égard au tonnage des trains. La machine à quatre cylindres et à six essieux accouplés du chemin du Nord est celle qu'il choisit. Cette machine adoptée, il calcule les frais de traction, en tenant compte de tous les éléments qui y concourent; en outre, il tient compte de l'usure plus considérable des rails, il tient compte d'un personnel plus nombreux pour les trains, à cause du plus grand nombre de freins. Il tient compte de l'augmentation de l'intérêt du capital nécessité pour l'acquisition du matériel spécial aux fortes rampes; il tient compte de l'augmentation des frais de traction nécessités par les machines de renfort et dont l'influence varie avec

l'importance du trafic et la raideur de la rampe. Il tient compte enfin de tous les frais d'exploitation.

Quand tous ces éléments sont déterminés, l'application en est faite à chacun des deux tracés, et il arrive à ce résultat :

1° Que dans l'hypothèse d'un trafic kilométrique de 40,000 fr., l'avantage du tracé à rampes de 25 $^{m}/_{m}$ sur le tracé à rampes de 15 $^{m}/_{m}$ serait de 26,855 fr. par kilomètre.

2° Que dans l'hypothèse d'un trafic kilométrique de 85,000 fr., l'avantage du tracé à rampes de 25 $^{m}/_{m}$ sur le tracé à rampes de 15 $^{m}/_{m}$ ne serait plus que de 2,385 fr. par kilomètre, et que l'égalité entre les deux tracés se rencontrerait le jour où le trafic de la ligne serait de 90,000 fr. par kilomètre.

Or, comme ce trafic de 90,000 fr, est un trafic énorme, puisque le chemin de Paris à Lyon, le plus considérable de France, ne donne que 70,000 fr., il en résulte qu'il y aurait un grand intérêt et un grand avantage à adopter le tracé direct à rampes de 25 $^{m}/_{m}$, au lieu de prendre le tracé le plus long avec rampes de 15 $^{m}/_{m}$.

M. Petiet fait remarquer que M. Flachat a admis, comme base de comparaison, une même recette kilométrique dans les deux cas, et que les résultats des calculs changeraient, si, au lieu de cela, on admettait des tarifs compensateurs, permettant de percevoir une taxe plus élevée, et par suite d'avoir une recette kilométrique plus forte sur la ligne à fortes rampes que sur l'autre, la différence des tarifs servant à payer l'augmentation sur les frais de traction.

MM. Goschler et Tronquoy rappellent que les cahiers des charges ont autorisé les Compagnies de l'Est et du Midi à percevoir des tarifs de ce genre pour la traversée des ponts de Kehl et de Bordeaux.

MM. Brissaud, Couture, Dorré et Leygue ont été reçus membres de la Société.

Séance du 5 Juin 1863.

Présidence de M. *le Général* Morin.

M. Goschler présente l'analyse d'une note de M. Sieber relative à la compression des rails pendant le refroidissement.

M. Sieber rappelle d'abord cette observation, admise aujourd'hui comme axiome, qu'en tous pays on a été d'accord pour reconnaître dans les premiers rails fournis par les anciennes usines, une supériorité de qualité très-marquée sur les rails fabriqués plus tard. La confiance dans la qualité des premiers rails était telle que, d'après les premiers essais d'exploitation, on en estimait la durée a 100 ans. On a cherché les causes de ces différences dans la nature des fontes employées pour le puddlage, dans les procédés d'affinage, etc. En analysant tous ces éléments, on a reconnu que les procédés anciens étaient inférieurs aux pratiques actuelles, puisqu'en revenant à cette partie de l'ancienne métallurgie, on obtenait des produits plus défectueux encore que ceux résultant des nouvelles méthodes de fabrication.

Ce n'est pas non plus, dit-il, dans la différence des conditions de trafic que peut résider la cause de la détérioration plus rapide des rails, puisque le poids en a été porté de 25 et 30 kilogrammes à 34, 37 et même 40 kilogrammes, la portée des appuis étant ramenée de $1^m,10$ à $0^m,80$. Il doit donc y avoir des causes autres que celles dont nous venons de faire l'énumération, qui contribuent à la détérioration rapide du matériel de la voie.

M. Sieber remarqua que des rails dont il surveillait la fabrication en 1846 se comportaient d'autant mieux aux essais que les barres étaient laminées à une plus basse température, ce qui arrivait plus souvent qu'on n'aurait voulu, l'usine ne disposant que d'une force motrice insuffisante; mais les rails ainsi laminés ne présentaient que du *nerf*, tandis que le cahier des charges exigeait du grain dans les champignons; néanmoins ces rails, après 12 années de service actif, n'offraient aucune trace d'altération : M. Sieber pense même qu'ils doivent être encore dans le même état.

Plus récemment, la comparaison des produits de deux usines ayant fait des fournitures à un même chemin de fer, a permis de constater que les rebuts de l'une étaient à ceux de la deuxième comme 1 est à 50; la première possède un matériel de laminage beaucoup plus faible que la seconde.

D'un autre côté, plusieurs usines ayant également livré des rails à une compagnie étrangère, ont été conduites à faire constater leurs rebuts. L'usine dont l'outillage était le plus faible a eu 4 pour 100 seulement de rebuts, tandis que ceux des autres forges se sont élevés jusqu'à 12, 15 et 20 pour 100.

Enfin il résulte de la comparaison des produits de trois autres usines, que ceux provenant du laminage à trois cylindres, c'est-à-dire terminés à une très-haute température, donnaient 14 pour 100 de rebut; les autres n'accusant pour la même fourniture que 3 ou 4 pour 100.

M. Sieber examine ensuite les diverses circonstances qui se produisent dans le laminage du fer à très-haute température.

Il admet, quand le fer est très-pur, que, les parties enveloppes de la barre, tout en se refroidissant avant l'intérieur, n'en suivent pas moins les contractions du noyau, et que la section de la barre laminée doit avoir une dureté sensiblement homogène.

Mais dans un rail, fabriqué généralement avec des éléments de qualité médiocre, ce phénomène se complique. Le fer, dit l'auteur de la note, se trouve à l'état de division dans un amas de matières hétérogènes, crasses, etc. Les silicates qui retiennent le fer se consolident plus vite qu'une masse métallique pure et de composition uniforme; l'enveloppe de la section se solidifiant ne suit pas le retrait de la masse intérieure, de là un état de porosité du rail d'autant plus grande que le fer est moins pur et que sa sortie des cannelures finisseuses aura eu lieu à une plus haute température.

Cette absence d'homogénéité dans la section du rail doit, lors du passage des véhicules sur la voie, permettre un refoulement du fer que facilite encore le ramollissement du métal en quelque sorte recuit par le refroidissement lent. Ce refoulement du fer détruit la solidarité des mises, et produit ces exfoliations, principales causes des déchets que met au jour la circulation des trains.

Pendant le travail lent des anciens laminoirs, au contraire, le fer en refroidissant subissait une compression suffisamment énergique pour donner à l'enveloppe une densité telle que le rail était plus dur, plus élastique, et en état de mieux résister à l'action des roues.

De cette étude comparative, M. Sieber tire la conclusion suivante :

Ce n'est point par l'accélération du laminage ou par la composition des paquets tels qu'on la comprend aujourd'hui, que l'on doit s'attendre à fabriquer des rails d'une durée plus grande; le problème ne peut se résoudre que si l'on comprime le rail pendant son refroidissement; avant tout il faut chercher à donner au rail de l'élasticité, qualité indépendante de la nature du fer, mais non du travail mécanique qu'on lui fait subir.

Ces principes établis, M. Sieber propose de substituer au mode actuellement employé, le traitement suivant :

Composition d'un paquet sans mises de fer corroyé;

Chauffage et laminage ordinaire, mais seulement jusqu'à l'*ébauche* de la forme du rail, suivi du cisaillage de la barre à la scie;

Compression à chaud, consistant dans un nouveau laminage lent à travers des cannelures comprimant et refoulant le fer dans tous les sens, jusqu'à ce qu'il atteigne le profil définitif et les températures des matières employées;

Enfin, dressage à chaud de la barre finie de laminage.

Ces opérations complémentaires de la fabrication actuelle en augmenteront sensiblement le prix de revient; mais M. Sieber pense avec raison que si les compagnies des chemins de fer trouvaient dans l'application de ce procédé le moyen de prolonger le *temps* de service de leurs rails, elles n'hésiteraient pas à augmenter dans une certaine proportion le prix qu'elles payent aujourd'hui aux maîtres de forges.

M. Goschler, à titre d'observations personnelles, ajoute que les considérations développées dans la note de M. Sieber lui paraissent devoir être prises en sérieuse considération par toute personne qu'intéresse non-seulement la question des rails en particulier, mais celle plus générale de la fabrication du fer dans toutes ses applications. (Pour le dire en passant, il y aurait quelque analogie entre les remarques de M. Sieber sur les rails, et celles également intéressantes de notre collègue M. Limet, sur la fabrication des ressorts et la manipulation de l'acier à une température trop élevée.)

Sans partager d'une manière absolue toutes les idées de l'auteur de la note, notamment celles qui traitent des effets de la solidification isolée des éléments non métalliques du rail, M. Goschler croit cependant que le principe de la compression du fer à *basse température* doit amener de féconds résultats en l'étendant à la fabrication des bandages, des essieux, des fers spéciaux surtout, qui laissent si souvent à désirer, et des fers marchands.

Que se passe-t-il en effet dans les procédés actuels du laminage? Le fer, point ou peu soudé, à peine dégrossi, traverse au plus vite les cannelures finisseuses, dont le nombre est d'ailleurs insuffisant; certaines usines ont, il est vrai, introduit dans la fabrication des rails le pilonnage du paquet avant le dégrossissage, ce qui diminue en partie ces défectuosités; mais le laminage qui suit cette opération fait toujours éprouver au paquet une compression brusque et violente sur la partie médiane de sa section, où se trouve presque toujours l'axe neutre, celle en un mot le moins intéressée dans la résistance, tandis que la tête ou la portion de la section soumise aux plus grands efforts, est à peine touchée par la majeure partie des cannelures. Le métal est donc refoulé, sans compression directe, vers le champignon ou les ailes, où il se trouve par conséquent à l'état de dilatation, d'épanouissement, ajoutons même, de dislocation. Le finissage, ou passage à la dernière cannelure, ne s'opère, on peut bien le dire, avec les deux acceptions, que *pour la forme*, et sans qu'il y ait accroissement bien marqué dans la densité du métal.

Le perfectionnement proposé par M. Sieber doit atténuer en grande partie ce vice de fabrication si connu; tout le fait supposer : il ramène le fer à une homogénéité plus grande, par un écrouissage ayant pour conséquence une augmentation du coefficient de résistance du métal à la traction et à la compression; il mérite à tous égards un examen attentif de la part des hommes qui s'occupent de métallurgie pratique, et surtout des ingénieurs qui comptent parmi leurs principales préoccupations celle des économies à réaliser sur les frais d'exploitation des chemins de fer.

M. Nozo indique qu'on pourrait ajouter aux observations de M. Sieber les résultats d'expériences faites récemment en Angleterre pour améliorer la fabrication des essieux, et qui ont été publiés dans le journal l'*Artisan* : on a trouvé qu'en finissant des essieux à froid et les recuisant légèrement, on en augmentait considérablement la résistance à la flexion.

M. LE PRÉSIDENT appelle l'attention sur une ancienne fabrication de pelles de terrassier et de scies de charpentier *en fer*, auxquelles on faisait acquérir la dureté et l'élasticité nécessaires par le travail au marteau. Quant aux faits cités par M. Sieber, il serait utile qu'ils fussent mieux précisés et que l'auteur indiquât ce qu'il entend par la *basse température* qu'il propose pour le finissage des rails.

M. GOSCHLER répond qu'on peut déjà, dans la fabrication actuelle, apprécier de grandes différences de température. D'après le retrait que subissent les barres sortant du laminoir, cette température serait de 1300° aux forges de Trédegar ou de Dowlais, et de 1000° seulement à celles de Styring, dont les rails ont été reconnus supérieurs à ceux des usines anglaises; que le perfectionnement de M. Sieber consiste non pas à laminer *à froid*, mais à une température strictement suffisante pour permettre au métal de se laisser comprimer et étirer dans une certaine mesure à déterminer selon la nature du fer.

M. PETIET fait remarquer que M. Sieber paraît arriver à cette conclusion, qu'il faut moins de force pour laminer à basse température; c'est évidemment le contraire qu'il faudrait dire, s'il s'agit du travail mécanique total pour une production donnée. M. Petiet n'est pas disposé d'ailleurs à accorder une très-grande importance au finissage à basse température, et il pense que la nature du fer a une influence beaucoup plus grande sur la qualité des rails.

M. LE PRÉSIDENT indique qu'il serait possible d'arriver à un résultat indépendant des autres conditions de fabrication en comparant le procédé de M. Sieber et la méthode ordinaire de fabrication dans une même usine et avec les mêmes matières.

M. PETIET ajoute que cette comparaison devrait être faite sur la voie; car de ce que les rails laminés à froid pourraient avoir une croûte plus dure que les autres, il ne serait pas possible d'en conclure qu'ils fussent en état de faire un plus long service.

M. BRULL extrait de l'ouvrage de M. Kirkaldy, de Glascow, sur la résistance des fers les renseignements suivants sur l'influence du laminage à froid sur les propriétés résistantes.

De trois échantillons découpés dans une tôle de chaudière, marque : *Blochairn Best*; le premier, à l'état ordinaire, se rompit sous une charge de 32 kilog. par millimètre carré, en donnant une striction de 14, 3 p. 100 et un allongement de 4, 4 p. 100 ; le second, laminé à froid, supporta avant de rompre 62 kilog., mais ne présenta que 2, 5 p. 100 de striction et 1 p. 100 d'allongement; le troisième, réchauffé après laminage à froid, supporta 36 kilog. et donna 13, 6 p. 100 de striction en s'allongeant de

8 p. 100 ; tandis que le premier morceau donnait une cassure entièrement fibreuse, le second présenta dans sa cassure 54 p. 100 de partie à grains.

D'autres résultats analogues sont cités dans l'ouvrage de M. Kirkaldy, et l'auteur en conclut que le laminage à froid augmente la résistance à la rupture, mais en diminuant la ductibilité.

Il rapporte aussi ce fait curieux, que le laminage à froid diminue la densité. Ainsi la tôle qui vient d'être citée, qui avait une densité de 7,5664, ne présenta plus après l'opération qu'une densité de 7,5392. Une autre barre passa de même par le laminage de 7,6360 à 7,5824. Le même effet a été observé sur un grand nombre d'échantillons dans l'étirage de la filière. Cette opération diminue également la densité, contrairement à l'opinion généralement admise.

M. Desmousseaux de Givré donne l'analyse de son Mémoire sur les contre-poids des locomotives.

L'auteur rappelle d'abord que la question des contre-poids peut être considérée au double point de vue de la sécurité et de l'économie du matériel ; que depuis longtemps on sait concilier une sécurité complète avec une économie satisfaisante du matériel remorqué, mais que pour le matériel moteur, et notamment pour les bandages, il y aurait un progrès à réaliser qui consisterait à déterminer la meilleure répartition des charges et des contre-poids sur les différents essieux couplés.

L'auteur pense qu'en ces matières, on ne doit guère demander au calcul autre chose qu'une première approximation, qu'il est ensuite généralement indispensable de modifier et de parfaire d'après l'observation des faits.

A ce sujet, M. Desmousseaux de Givré donne quelques explications sur une série d'expériences entreprises depuis plusieurs années par M. Nozo, au moyen d'un appareil qui est présenté à la Société.

Se fondant sur les résultats observés, M. Desmousseaux propose, relativement aux machines à roues couplées, de charger les roues motrices moins que les autres et de ne leur appliquer aucun contrepoids des pièces à mouvement alternatif.

Dans ce travail, on trouve un tableau-barême permettant de déterminer *presque sans calcul* les contre-poids d'une locomotive, puis un exposé sommaire de la question théorique, ensuite une analyse des inerties des bielles motrices, et enfin une étude (dont M. Nozo avait ainsi conçu la pensée) sur les *forces centrifuges composées* produites soit par le passage en courbe, soit par le mouvement de lacet.

M. Desbrière lit ensuite un Mémoire sur un système de bagues en fonte applicable à la voie Vignole.

L'auteur analyse d'abord les divers genres d'efforts auxquels sont soumises les attaches de la voie Vignole ; il en conclut que le but auquel doit prétendre un système d'attache bien étudié est de supprimer tout glissement longitudinal ou transversal du rail sur la traverse. Quant au soulèvement vertical du rail, il est impossible, et du reste sans intérêt, de le supprimer entièrement, le déversement du rail vers l'intérieur n'étant jamais à craindre. Le crampon satisfait en général à la condition ci-dessus lorsque les traverses sont en bois dur ; mais si les traverses sont en bois tendre, les courbes prononcées et les pentes fortes, les crampons extérieurs, principalement aux joints et dans les courbes, écrasent les fibres du bois placées derrière eux, et alors leur adhérence au bois se trouve assez réduite pour que le moindre effort détermine leur extraction ; en même temps, les bords des patins écrasent les

bords de l'entaille, et le calibre de la voie se trouve altéré. En outre, les encoches destinées à retenir le rail dans le sens longitudinal peuvent se dégager du crampon et perdre leur efficacité.

En Allemagne, on a employé, pour remédier à cet inconvénient, les plaques de joint et des selles d'arrêt ; mais, en prenant du jeu, elles produisent un claquement et font perdre l'un des principaux avantages de la voie Vignole sur la voie à coussinets, celui de donner au rail le bois pour surface directe d'appui.

Le tire-fond ne doit pas présenter d'avantages sur le crampon ; ne touchant le patin du rail que par une arête, il doit le maintenir moins efficacement ; en outre, la pénétration du bois, à égalité de pression et de surface, doit être plus facile par sa surface ronde que par une surface plane comme celle du crampon ; le tire-fond, longtemps appliqué en Allemagne, a fini par y être repoussé universellement et remplacé par le crampon à section uniforme, semblable à celui qui est généralement employé en France.

C'est donc au crampon qu'il faut s'en tenir, à la condition de l'approprier aux difficultés spéciales que comporte l'emploi des bois tendres. La bague en fonte dont M. Desbrière présente un échantillon, lui a paru répondre à cet objet. La pression du crampon sur le bois est évidemment concentrée en majeure partie dans la région voisine de la tête. Admettant toutefois que la surface entière de la partie postérieure du crampon reporte cette pression sur le bois, on trouve que l'emploi de la bague double la surface d'appui et par suite la résistance du crampon à l'ébranlement. C'est ce qui a été complétement confirmé par des expériences à la presse hydraulique.

Ce résultat montre quel parti les lignes à construction économique pourront tirer des bois tendres. La résistance du chêne à l'écrasement étant de 707 kilogrammes par pied carré, et celle du peuplier de 360, dont le double est 720 kilogrammes, on voit qu'une traverse en peuplier, armée de quatre bagues et préparée au sulfate de cuivre, pourra résister aussi bien et durer autant qu'une traverse en chêne. Or une semblable traverse ne coûtera pas plus de 2 francs dans la plupart des régions de la France. Le prix de la bague étant de 7 centimes 1/2, et la préparation représentant un chiffre de 75 cent. par traverse, on arrive à 3 fr. environ pour prix d'une traverse en peuplier préparée et armée de bagues. Le prix des traverses en chêne étant d'environ 7 fr. la pièce, il y a donc là, pour les petites lignes, la source d'une économie de 4,000 fr. par kilomètre de simple voie. Le sapin donnerait lieu aux mêmes avantages.

L'application de ce système a été faite sur 50 kilomètres (ligne d'Alger à Blidah) avec traverses en pin préparées au sulfate de cuivre.

M. Goschler a remarqué, lors de la réfection de l'ancienne voie de Strasbourg à Bâle, que les chevilles présentaient deux modes d'usure différents : les unes étaient altérées dans le coussinet et les autres dans la traverse ; il pense qu'un effet du premier genre pourrait se produire au contact du crampon et de la bague.

M. Desbrière répond que l'usure due au frottement de l'attache s'observe sur la voie Vignole, dont les crampons sont entamés au collet par le patin du rail, après un certain temps de service ; l'addition de la bague ne pourrait évidemment aggraver cet effet.

Séance du 19 Juin 1863.

Présidence de M. PETIET, *Vice-Président.*

M. le Président annonce à la Société qu'en raison de la perte regrettable qu'elle vient de faire dans la personne de M. Faure, l'un de ses anciens présidents, le comité a pensé qu'il serait convenable de borner la séance à la lecture du discours prononcé par M. le général Morin, sur la tombe de M. Faure, et à l'exposé de la situation financière.

M. le Président donne lecture de ce discours.

Messieurs,

Le collègue dont nous accompagnons à sa dernière demeure terrestre la dépouille mortelle, laissera dans la Société des Ingénieurs civils un vide difficile à combler. Amant fidèle de la science, passionné pour l'art de l'Ingénieur, il possédait une variété de connaissances qui lui permettait de prendre part aux discussions sur presque tous les sujets. Cherchant toujours sincèrement la vérité, s'il était parfois difficile à convaincre, il se rendait entièrement dès que la lumière s'était faite pour lui, et autant il avait été ardent pendant la lutte, autant il était sincère quand elle avait cessé.

Doué d'une grande lucidité d'exposition, il savait parfaitement rendre sa pensée, et il était un des professeurs les plus distingués de cette école centrale dont il s'honorait d'avoir été l'un des premiers élèves.

Après avoir fait ses études au collége de Sainte-Barbe, Faure, né à Clermont (Auvergne) en 1807, entra à l'École centrale et fit partie de la première promotion de cette pépinière d'ingénieurs et d'industriels à laquelle la France doit tant et de si grands travaux.

Il y obtint le diplôme d'ingénieur, objet de la légitime ambition d'une jeunesse studieuse, garantie de capacité et de persévérance dans l'étude, qui devient pour la plupart de ceux qui l'ont conquise par le travail le point de départ d'une carrière honorable, à la fin de laquelle on peut dire avec un juste orgueil que l'on est le fils de ses œuvres.

Après s'être occupé pendant quelque temps des arts métallurgiques et de l'exploitation des mines en particulier, Faure, qui était naturellement appelé vers l'enseignement, fut attaché au cours de construction de machines, alors professé à l'École centrale par M. Valter Saint-Ange, ancien officier d'artillerie. Il s'y consacra entièrement, et on lui doit une rédaction complète de ce cours; mais ce qui vaut mieux et ce qui honore encore plus sa mémoire, c'est le dévouement pieux et le désintéressement absolu avec lequel il remplaça M. Valter pendant la longue maladie qui priva l'École de ce professeur honorable.

Chargé plus tard des cours de cinématique et de résistance des matériaux, Faure

apporta dans cet enseignement le fruit de ses longues et nombreuses études, et le maintint toujours au niveau des progrès de l'art et de la science. Les dépenses, les voyages, les fatigues, alors même qu'il était souffrant, ne l'arrêtaient pas, lorsque quelque occasion d'apprendre se présentait à lui, et l'année dernière nous l'avons vu, quoique atteint déjà peut-être de l'affection grave qui nous l'a si rapidement enlevé, venir à Londres, à Sheffield, étudier sur place les progrès si remarquable qui ne tendent à rien moins qu'à transformer complétement l'industrie du fer.

L'ardeur que Faure apportait à la recherche de la vérité l'avait peu à peu conduit à examiner les questions si délicates que soulève sans cesse l'application de la législation sur les brevets d'invention. Dans cette étude difficile, où l'intérêt privé est si habile à se couvrir d'arguments captieux, s'il ne fut pas toujours heureux, il sut du moins faire preuve d'une netteté de vues et de logique assez remarquables pour que son action n'ait pas été peut-être sans influence sur les doctrines qui prévalent aujourd'hui devant les tribunaux en pareille matière.

Après avoir été l'un des fondateurs de la Société des Ingénieurs civils, notre collègue, qui en fut aussi l'un des présidents, se montra toujours l'un de ses membres les plus assidus et les plus dévoués. Toujours attentif, compétent pour la plupart des questions, sa verve, parfois un peu vive, mais toujours dictée par l'amour de la justice et de la vérité, animait les discussions, et après des luttes en apparence passionnées, nous retrouvions toujours la bonne et simple nature de cet excellent homme.

Faure était aussi membre du Conseil de la Société d'encouragement, à laquelle il sut prêter avec un égal dévouement le concours de son expérience et de ses lumières.

Il avait été tout récemment l'un des fondateurs de cette Société amicale des anciens élèves de l'École centrale, qui, par les liens d'une véritable fraternité d'origine, tend à réunir en une seule famille les nombreux enfants de cette École.

Toujours prêt lorsqu'il s'agissait d'être utile, Faure avait depuis plusieurs années accepté la présidence du Jury d'examen des candidats qui, dans le département de la Seine, se présentent aux Écoles d'arts et métiers. Mieux qu'un autre il savait apprécier toute l'importance des institutions de ce genre pour les progrès de notre industrie. En relations continuelles avec les ingénieurs, avec les mécaniciens distingués sortis de ces Écoles, il connaissait les services qu'elles ont déjà rendus, et comme nous il appelait de tous ses vœux le moment où nous verrions le gouvernement de l'Empereur étendre sur l'organisation complète de l'enseignement industriel et professionnel sa puissante initiative, pour ouvrir à toutes les intelligences la voie large et féconde du travail, où chacun peut marcher et s'élever sans abaisser personne.

Une vie si laborieuse et si utilement remplie vient de s'éteindre subitement, alors qu'il nous était permis de croire que de longues années seraient encore accordées à l'excellent collègue que nous avons perdu. Mais ne le plaignons pas, il a laissé de son passage sur cette terre une trace utile, il a contribué à l'instruction d'une nombreuse jeunesse, il a su se concilier l'estime et l'affection de tous ceux qui l'ont connu, il a été juste et bon ; Dieu lui sera miséricordieux.

La parole est ensuite donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 19 décembre 1862, de..... 577
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 24
601
A déduire par suite de décès..... 5
Nombre total des Sociétaires au 19 juin 1863..... 596

Les versements effectués pendant le premier semestre 1863 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc....	8,587 50	9,187 50
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable.....	600 »	
Il reste à recouvrer en cotisations et amendes.....		12,231 »
Total de ce qui était dû à la Société.....		21,418 50

Au 19 décembre 1862, le solde en caisse était de.....	6,101 35	15,288 85
Les versements effectués pendant le premier semestre 1863 se sont élevés à.....	9,187 50	

Les dépenses du premier semestre se sont élevées à :

1° Pour achats de 10 obligations sur le fonds courant..	2,998 »	11,542 10
2° Achat de 2 obligations sur le fonds inaliénable.....	601 90	
3° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	7,942 20	
Il reste en caisse à ce jour.....		3,746 75
dont..... 3,530 60 pour le service courant.		
et..... 216 15 pour le fonds social.		
Somme égale..... 3,746 75		3,746 75

La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 205 *obligations de chemins de fer ayant coûté* 64,773 fr. 85 c.
Plus sur le fonds courant 10 *obligations ayant coûté* 2,998 fr.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. le Président adresse au trésorier, au nom de la Société, des remerciements pour sa bonne et active gestion.

CONSTRUCTION

DES GRANDS TUNNELS

PAR TONI FONTENAY,

INGÉNIEUR CIVIL, ANCIEN INGÉNIEUR EN CHEF DES CHEMINS DE FER DU DAUPHINÉ.

Nous avons proposé au gouvernement italien de nous charger d'exécuter à forfait le tunnel du mont Cenis, dans un délai maximum de *six ans et demi*, délai qui serait probablement réduit à *quatre* ou *cinq ans*, si l'entreprise de ce travail nous était confiée, et nous avons offert comme garantie un million de cautionnement.

Le présent mémoire fait connaître nos procédés d'exécution.

§ 1er. — État actuel de la question des grands tunnels.

Le développement rapide des communications en Europe a fait reconnaître, depuis longtemps déjà, la nécessité de construire à travers les Alpes de longs tunnels, pour donner passage aux chemins de fer destinés à relier la France, la Suisse et l'Allemagne avec l'Italie. Ainsi, c'est de 1845 que datent les premières études faites pour la percée de la chaîne du mont Cenis, entre Modane et Bardonnèche, époque à laquelle il fut question d'exécuter ce grand tunnel avec deux ateliers placés aux extrémités, et au moyen de perforateurs mécaniques, mis en mouvement par des chutes d'eau empruntées aux torrents voisins, et à l'aide de câbles de transmission en fil de fer.

Ainsi encore, c'est en 1851 qu'une commission fut nommée par la Prusse, le Piémont et la Confédération suisse pour chercher le passage le plus convenable à travers les Alpes, pour relier par une voie ferrée l'Allemagne et la Suisse avec l'Italie, et cette commission reconnut que tous les passages nécessitaient de longs tunnels.

Mais des tunnels de ce genre, passant sous des montagnes élevées, ne peuvent pas être construits suivant la méthode ordinaire, c'est-à-dire à l'aide de puits, fournissant chacun deux points d'attaque, et qu'on multiplie en raison de la vitesse d'exécution qu'on veut obtenir; car ces puits

auraient des profondeurs beaucoup trop grandes. En effet, les puits les plus profonds employés jusqu'à ce jour à la construction des plus grands tunnels connus, n'ont jamais atteint 250 mètres. Ainsi le tunnel de Blaisy, d'une longueur de 4100 mètres, et celui de la Nerthe, d'une longueur de 4620 mètres, ont été construits au moyen de puits ayant au maximum 200 mètres de profondeur.

En pratique, on admet pour les puits des tunnels qu'une profondeur de 300 mètres est un maximum qui ne doit pas être dépassé parce qu'à cette profondeur l'exécution devient très-difficile, très-longue, très-coûteuse. Lorsque l'ouvrier travaille au fond d'un puits vertical de plusieurs centaines de mètres, il n'est jamais en sécurité : Le plus léger éboulement, une parcelle qui se détache et qui tombe d'une grande hauteur, une benne mal chargée ou qui butte en montant, un signal mal compris, une maladresse ou un oubli des hommes d'équipe placés au sommet du puits, un envahissement subit des eaux, etc., etc., sont autant de causes pouvant à chaque instant déterminer sa mort et qui le placent sous une espèce de contrainte morale, sous une continuelle appréhension qui paralysent ses moyens et retardent son travail. L'ouvrier au fond du puits ne peut faire partir une mine, ne peut sortir ou rentrer, ne peut faire presque aucun mouvement sans le secours des hommes d'équipe placés à l'extérieur; son travail est forcément suspendu chaque fois qu'on consolide une partie quelconque du puits, qu'on fait un cuvelage, qu'on pose un étai, un appareil, etc., etc. En outre, comme une très-faible quantité d'eau suffit pour couvrir le fonds du puits, le forage s'effectue presque toujours dans l'eau et au milieu de l'encombrement de déblais boueux. Ces diverses circonstances, on le comprend, font que les pertes de temps augmentent de plus en plus, que le travail marche de plus en plus lentement, que l'exécution devient de plus en plus difficile à mesure que le puits s'approfondit.

Les longs tunnels, passant à de très-grandes profondeur au-dessous des faîtes, ne pouvant être construits à l'aide de puits, on en a conclu qu'ils ne pouvaient être entrepris que par les deux extrémités, ainsi qu'on le pratique depuis six ans au tunnel du mont Cenis, et on a été effrayé, à juste raison, des délais prolongés, et par conséquent des dépenses énormes, en capital et intérêts, qu'une grande percée, faite d'après un tel système, devait entraîner. Aussi les compagnies de chemins de fer se sont-elles sagement abstenues et ont-elles attendu les résultats de l'expérience qui se poursuit au mont Cenis, et les ingénieurs ont-ils cherché des moyens nouveaux pour lancer par-dessus les Alpes des chemins de fer, en évitant les grands tunnels.

Aujourd'hui deux systèmes se trouvent donc en présence pour établir des voies ferrées, à travers les Alpes :

Ou l'on admet de longs tunnels, et alors les chemin sont des pentes modérées et peu de courbes à petits rayons; ils traversent des régions

tempérées et sont exploitables dans les conditions ordinaires de la pratique.

Ou bien on passe par-dessus les hautes montagnes en évitant les grands tunnels, et alors les tracés présentent des rampes et des courbes exceptionnelles; ils traversent des régions froides où les tourmentes de neige et les avalanches obstruent quelquefois les communications. Dans ce système l'exploitation serait pleine de difficultés, coûteuse et par moments impossible si la voie n'était pas couverte sur une partie de son étendue.

Si les longs tunnels ne devaient pas profiter à la génération qui les aurait entrepris, il faudrait peut-être les éviter et admettre les passages à ciel ouvert, sauf à modifier ultérieurement les tracés, quand la science et la pratique auraient fait de nouveaux progrès; mais si, au contraire, il est actuellement possible d'exécuter en quelques années les plus longs tunnels que l'ingénieur soit appelé à projeter, il faut, croyons-nous, les admettre et rejeter les passages à ciel ouvert.

On sait que le tunnel du mont Cenis doit avoir 12,220 mètres de longueur; on travaille, nous l'avons dit, depuis six ans et 10 kilomètres restent encore à exécuter; mais les perforateurs qui pratiquent les trous de mines et qui sont mis en mouvement par de l'air préalablement comprimé à l'aide de chutes d'eau, ne fonctionnent que depuis deux ans environ du côté de Bardonnèche et depuis le mois de janvier dernier du côté de Modane.

D'après les renseignements donnés au parlement italien, par M. le ministre des travaux publics du royaume d'Italie, on a exécuté du côté de Bardonnèche, avec les perforateurs, 170 mètres en 1861 et 380 mètres en 1862. Pour percer ces 380 mètres, il y a eu 582 reprises de travaux d'environ 7 heures 39 minutes de durée, entre lesquelles ont eu lieu la charge des mines, leur explosion et le déblaiement des matériaux. Dans ces 582 reprises, on a pratiqué 43,751 trous de mines d'une profondeur variable de 75 à 80 centimètres, pour lesquels on a employé 72,538 pointes de barres à mines. Enfin, pour 54,875 mines qu'on a fait partir, on a brûlé 18,622 kilogrammes de poudre et 76,000 mètres de mèches. Quant à la diminution de pression de l'air comprimé à l'extrémité de la conduite, pendant la marche de tous les perforateurs, elle n'a pas été appréciable avec le manomètre Bourdon, gradué en dixièmes d'atmosphère, quoique la longueur de cette conduite soit déjà de plus de 1800 mètres. M. le ministre, en donnant ces intéressants détails, a dit que la longueur de 380 mètres, exécutée en 1862 du côté de Bardonnèche, aurait facilement pu arriver à 400 mètres, s'il n'était pas survenu dans les derniers jours « quelques accidents dus à des circonstances et des événements « tout à fait particuliers, qui probablement ne se renouvelleront plus; » et il a ajouté qu'on pouvait être certain qu'à l'avenir on exécuterait au moins 400 mètres par an à chaque extrémité, et qu'en admettant ce

chiffre le travail serait terminé dans un délai de 12 ans et demi. M. le ministre a fait connaître aussi que la construction du tunnel exigera un capital de 50 à 51 millions environ, dont 31 à 32 millions seront payés par le gouvernement français, aux termes du traité intervenu entre les deux gouvernements, le 7 mai 1862.

Le nombre des ouvriers, au 1er janvier 1863, était de 720 à Modane et de 900 à Bardonnèche.

Il résulte des détails officiels qui précèdent que pour chaque reprise de travail des perforateurs, l'avancement moyen de la galerie a été de 0m,65, quoique les trous de mines aient été de 0m,75 à 0m,80 de profondeur; que le temps moyen employé entre deux reprises de travail pour charger les mines, les faire partir, déblayer les matériaux ou faire des travaux accessoires, a été de 7 heures 24 minutes et qu'il n'aurait été que de 6 heures 38 minutes si l'on avait exécuté 400 mètres dans l'année; que pendant chaque reprise de travail les perforateurs ont pratiqué ensemble 75 trous et 19 centièmes de trous de 75 à 80 centimètres de profondeur; que chaque trou a nécessité en moyenne l'emploi d'une barre à mines pour une profondeur de 0m,47; enfin que chaque mine a employé 0k,34 de poudre et 1m,38 de mèches.

On sait que 8 perforateurs travaillent ordinairement à la fois au fond de la galerie. Chaque perforateur a donc fait 9 trous 39 centièmes par reprise de travail de 7 heures 39 minutes, soit un trou en 49 minutes, soit un mètre courant de trous en 1 heure 2 minutes.

La galerie a environ 11 mètres carrés de section, et comme l'avancement a été de 0m,65 par reprise de travail, le cube enlevé entre deux reprises a été de 7m,15. Il y a eu par mètre carré de section, 6 trous et 82 centièmes, soit 5m,29 courants de trous, ce qui fait par mètre cube de roche déblayé 10 trous 49 centièmes ou 8m,13 courants de trous.

Si tous les trous avaient reçu de la poudre, on aurait employé 3k,57 de poudre par mètre cube de roche déblayée au fond de la petite galerie et 14m,48 de mèches; mais nous estimons à 7 0/0 environ le nombre des gros trous qui ne reçoivent pas de poudre et qui ne servent qu'à faciliter la dislocation du rocher. Si cette proportion était exacte, la quantité de poudre employée serait seulement de 3k,32 par mètre cube, et la longueur de mèches de 13m,47.

Si les travaux sont terminés dans le délai de 12 ans et demi, indiqué par M. le Ministre des travaux publics, ils auront duré 18 ans et demi, puisqu'on travaille déjà depuis 6 ans.

Quant à la dépense, estimée de 50 à 51 millions, elle ne comprend pas les intérêts des capitaux pendant la construction. Si l'on ajoute ces intérêts, calculés à 7 0/0, taux inférieur à celui des derniers emprunts du gouvernement italien, on trouve que la dépense totale pour le tunnel sera, en capital et intérêts, de plus de 91 millions, c'est-à-dire qu'il y

aura pour plus de 40 millions d'intérêts, en admettant les délais qui viennent d'être indiqués [1].

Ces chiffres font voir combien il serait important, sans parler des intérêts généraux de la France et de l'Italie, de réduire de quelques années la durée des travaux du tunnel du mont Cenis, car c'est surtout pendant les dernières années de la construction que le compte des intérêts des capitaux engagés augmente rapidement [2].

Il faut reconnaître qu'on a été dans la nécessité d'employer, à l'origine des travaux du tunnel, beaucoup de temps pour étudier et installer les appareils. Si l'on voulait se rendre compte du temps réellement nécessaire pour exécuter un semblable ouvrage d'art d'après les mêmes procédés, il faudrait faire la part de cette circonstance qui ne se renouvellerait pas, puisqu'on profiterait de l'expérience acquise. Dans ce cas, la durée des travaux pourrait se compter ainsi :

Temps perdu pendant l'installation des appareils et des ateliers	1 an.
Percée de 12,220 mètres, à raison de 400 mètres par an à chaque extrémité.	15 ans 3 mois.
Parachèvement du tunnel.	3 mois.
TOTAL.	16 ans 6 mois.

Ce sont là des résultats fort remarquables et qui font le plus grand honneur aux ingénieurs chargés de diriger les travaux, surtout à l'ingénieur en chef, directeur, M. Sommeiller, ainsi qu'au gouvernement qui les a entrepris, car il est maintenant démontré qu'à l'aide de perforateurs, marchant par l'air comprimé envoyé à de grandes distances, on peut obtenir un avancement moyen de tunnel de $1^m,10$ en 24 heures, par chaque atelier, et dans des roches où la vitesse moyenne ne serait que de $0^m,40$ à $0^m,50$ par jour avec les procédés ordinaires. Mais il est bien évident que ces résultats ne sont pas suffisants pour engager les compagnies de chemins de fer, et même les gouvernements à entreprendre de longues percées, et il faut désormais, croyons-nous, tout en profitant de l'expérience acquise au mont Cenis et en améliorant, s'il est possible, les ingénieuses machines adoptées, demander à d'autres pro-

1. Pour faire ce calcul on a admis que la dépense a été de 1 million pendant chacune des six premières années, et que le capital à dépenser encore sera également réparti sur les années suivantes. Si la dépense avait été plus considérable pendant les six premières années, le chiffre total des intérêts devrait être augmenté.

2. Si l'on adoptait nos procédés, le délai de 12 ans et demi serait réduit de moitié ou même des deux tiers. L'économie réalisée sur les intérêts serait donc considérable; elle serait d'autant plus importante que dans notre système les dépenses sont accumulées à la fin des travaux, tandis que, dans le système actuellement suivi, elles sont réparties à peu près uniformément sur toute la durée de la construction.

cédés le surcroît de vitesse que ces machines ne sauraient incontestablement procurer.

C'est ce surcroît de vitesse que nous avons pour but, en proposant le système de construction que nous allons exposer.

§ 2. — Système de construction proposé.

Le système que nous proposons permet d'attaquer par un grand nombre de points et par conséquent d'exécuter assez rapidement les plus grands tunnels qui ont été projetés pour franchir les Alpes.

Il consiste essentiellement à effectuer le travail non-seulement par les deux extrémités, mais aussi à l'aide de galeries inclinées se dirigeant sous le sommet de la montagne et permettant au besoin, au moyen de bifurcations convenablement disposées, de multiplier à volonté les points d'attaque.

Une galerie inclinée est toujours facile à exécuter quelque longue qu'elle soit. Là, l'ouvrier est maître de tous ses mouvements; il peut sortir ou rentrer sans le secours de personne; il peut à sa volonté s'éloigner quand des mines vont faire explosion et se rapprocher ensuite. Il lui est facile de se mettre à l'abri de la chute des corps qui peuvent accidentellement rouler dans la galerie, car il lui suffit pour cela, si la pente est faible, de maintenir derrière lui un cavalier de décombre suffisant, et si elle est forte de tenir fermé une espèce de bouclier en charpente destiné à le protéger, ainsi que nous l'expliquerons plus loin. Son travail n'est pas gêné par les eaux qui sont facilement épuisées, soit sur les points de la galerie où on les rencontre, soit au pied du front d'attaque où elles se rassemblent. Enfin, les travaux de consolidation, d'installation d'appareil, etc., etc., dans la longueur de la galerie, peuvent s'effectuer sans ralentir le travail du forage qui marche presque aussi commodément et avec autant de sécurité et de vitesse que dans une galerie horizontale.

La fig. 1 (Pl. 27) représente ce système en supposant qu'il soit appliqué à la construction d'un tunnel de onze kilomètres, passant à 1900 mètres au-dessous de la crête d'une chaîne de montagnes.

Le travail est d'abord attaqué par les deux extrémités et par les galeries inclinées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8. A mesure que l'avancement de ces premières galeries le permet, on creuse les galeries secondaires inclinées en sens inverses des premières et portant les numéros 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 et 24. Lorsque toutes ces galeries sont arrivées à la profondeur du tunnel, elles fournissent chacune deux points d'attaque, soit en total 50 points d'attaque, y compris les deux ateliers placés aux extrémités du tunnel.

Si ce nombre de points d'attaque n'est pas jugé suffisant, on creuse des embranchements sur les galeries secondaires, ainsi que cela est indiqué (*fig.* 2), où 28 ateliers sont placés sur une longueur de moins de 2 kilomètres.

Flexibilité du système. — Ce système de construction de tunnels est d'une flexibilité extrême. On peut, suivant les circonstances, augmenter ou diminuer le nombre des galeries. Si les galeries principales sont courtes, elles ne présenteront pas de bifurcations; si elles sont longues, elles auront des bifurcations et même des sous-bifurcations, de manière à diminuer la longueur des ateliers, en les multipliant. Si l'on veut exécuter seulement les longues galeries avec des perforateurs mécaniques, et se contenter pour les autres de la barre à mines ordinaire, on augmentera le nombre des bifurcations et des sous-bifurcations.

En cours de construction on pourra aussi restreindre ou développer le nombre des ateliers : Si le forage des longues galeries a marché lentement jusqu'aux points où doivent commencer les bifurcations, on augmentera le nombre de ces bifurcations, et l'on fera, au besoin, des sous-bifurcations. Si, au contraire, la vitesse a été grande, on sera toujours à temps de ne pas exécuter quelques galeries.

Ce sont là de grandes facilités que ne présentent pas les puits, dans la construction des tunnels ordinaires.

Utilité des galeries inclinées pour la ventilation. — Après l'achèvement des travaux, quelques galeries pourront être conservées pour la ventilation du tunnel. La ventilation étant ainsi assurée, on pourra sans crainte donner à la voie ferrée une pente et une contre-pente dans l'intérieur du tunnel, soit pour faciliter l'écoulement des eaux, soit pour diminuer la longueur des galeries inclinées et réduire par conséquent la dépense et la durée des travaux.

Tracé des longs tunnels. — L'emplacement d'un long tunnel, à construire d'après le procédé que nous indiquons, devra être choisi de manière à faciliter l'emploi de ce procédé. Il sera bien de déterminer d'abord, approximativement, la position de l'orifice des principales galeries, de manière qu'elles aient le moins de longueur possible, et de tracer ensuite en conséquence l'axe du tunnel. Il n'est pas indispensable que le tunnel soit en ligne droite, de même qu'il n'est pas nécessaire que l'orifice de chaque galerie soit sur l'axe; mais il sera bon de disposer d'avance le tracé, de manière que les directions de galeries soient toujours faciles à déterminer et à vérifier pendant le cours de la construction. Il sera presque toujours préférable d'allonger un peu le tunnel en lui faisant subir une ou plusieurs inflexions, afin de pouvoir placer dans des thalwegs l'orifice des galeries.

Application au tunnel du mont Cenis. — Ce système de construction pourrait être, encore aujourd'hui, appliqué très-avantageusement au tunnel du mont Cenis.

La fig. 3 (Pl. 27) représente le profil en long, et la fig. 4 le plan de ce souterrain.

Les indications géologiques inscrites sur ces figures, nous ont été données par M. Ch. Lory, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Grenoble, auteur d'une carte géologique du Dauphiné, très-belle et très-estimée.

Tous les terrains traversés par le tunnel appartiennent aux terrains secondaires d'âge incertain. Les grès à anthracite (*grès houillers*), qui se présentent du côté de Modane, se rencontreront sur une longueur de 1500 mètres environ. Leurs couches sont inclinées dans la direction de Bardonnèche.

On traversera ensuite une faille de plusieurs centaines de mètres de largeur, remplie de roches d'éboulement, et notamment de calcaires compactes (*lias*), de quartzites, de gypse et cargneules.

Enfin, depuis la faille jusqu'à Bardonnèche, le tunnel se trouvera entièrement dans les schistes dits de Bardonnèche. Ce sont des schistes calcaréo-talqueux (*triasiques*), dont les couches sont inclinées dans la direction de Modane.

Les galeries inclinées pourraient être disposées comme on l'a indiqué sur le profil par des lignes ponctuées. La galerie n° 1 aurait son orifice au bord du torrent du Grand-Vallon, à gauche de l'axe du souterrain; la galerie n° 2 déboucherait dans une petite gorge située à droite de l'axe; la galerie n° 3 aurait son entrée sur l'axe même du souterrain, ou mieux encore à droite de cet axe, au bord du torrent du Chatelard; la galerie n° 4 serait creusée près du confluent des torrents du Chatelard et de Merdovine, à droite du tunnel.

Chacune de ces galeries présenterait une bifurcation vers son extrémité inférieure, et serait creusée à l'aide de perforateurs mus par l'air comprimé. L'air comprimé nécessaire à la marche de ces perforateurs, à celle des treuils, pompes, appareils d'épuisement, etc., et à la ventilation, serait fourni par les compresseurs qui sont déjà établis et dont, au besoin, on augmenterait ultérieurement le nombre.

En admettant un avancement moyen de 400 mètres par an et par atelier, dans le tunnel comme dans les galeries inclinées, les diverses sections du tunnel seraient percées dans les délais suivants :

CÔTÉ DE MODANE.

Section AC (*fig.* 3), **3 ans et 6 mois; rencontre des deux ateliers au point B.**

Section CE (*fig.* 3), 3 ans et 5 mois; rencontre des deux ateliers au point D.

Section EF (*fig.* 3), 3 ans et 6 mois. A l'expiration de ce délai la communication étant établie depuis l'entrée de Modane jusqu'au point F, sur une longueur de 3400 mètres environ, les alignements seraient alors vérifiés et au besoin rectifiés avant de battre au large entre les points B et F, et la galerie inclinée n° 1 ne servirait plus qu'à la ventilation.

Section FL (*fig.* 3), 5 ans et 2 mois; rencontre des ateliers aux points G et I. A l'expiration de ce délai, la communication étant établie depuis l'entrée de Modane jusqu'au point L, sur 5100 mètres, on vérifierait les alignements avant de battre au large entre les points G et L, et la galerie n° 2 ne servirait plus qu'à la ventilation.

Section LM (*fig.* 3), 6 ans et 6 mois; rencontre des ateliers venant de Bardonnèche.

CÔTÉ DE BARDONNÈCHE.

Section VY (*fig.* 3), 4 ans et 4 mois; rencontre des ateliers au point X.

Section TV (*fig.* 3), 3 ans et 2 mois; rencontre des ateliers au point U. Cette section pourrait être exécutée, sans perforateurs, par les moyens ordinaires, et serait alors percée au bout de 4 ans et 3 mois, en admettant une vitesse de $0^{m},40$ par atelier en 24 heures.

Section ST (*fig.* 3), 4 ans et 4 mois, au bout desquels la communication serait complète depuis l'entrée de Bardonnèche jusqu'au point S, sur 5100 mètres. On rectifierait alors, s'il y avait lieu, les alignements du point S au point X, avant de battre au large, et la galerie inclinée n° 4 ne servirait plus qu'à la ventilation.

Section QS (*fig.* 3), 5 ans; rencontre des ateliers au point R. Vérification des alignements par l'extrémité communiquant avec l'entrée de Bardonnèche.

Section NQ (*fig.* 3), 5 ans et 2 mois; rencontre des ateliers au point P. La communication se trouverait alors établie du point N à l'entrée de Bardonnèche, sur 6300 mètres environ, la galerie inclinée n° 3 ne servirait plus qu'à la ventilation, et on vérifierait les alignements avant de battre au large entre les points N et P.

Enfin, la section MN (*fig.* 3), serait percée au bout de 6 ans et 6 mois, époque à laquelle la communication serait complète dans toute la longueur du tunnel [1].

1. L'avancement de 400 mètres par an est celui prévu pour le tunnel, par M. le ministre des travaux publics du royaume d'Italie, en admettant l'emploi des perforateurs qui fonctionnent actuellement; mais on verra plus loin que l'emploi de nos perforateurs donnerait probablement une vitesse double de celle obtenue avec les perforateurs du mont Cenis. Dans ce cas le tunnel serait entièrement percé au bout de 3 ans et 3 mois.

On voit, d'après ce qui précède, que les galeries inclinées ont été espacées de manière que le travail marche et se termine successivement. Les résultats de cette disposition seraient de diminuer l'importance du matériel et du personnel ; de faciliter la ventilation ; de permettre de vérifier tous les alignements par les extrémités du tunnel avant l'élargissement à grande section ; de faire passer par les têtes du tunnel la plus grande partie des déblais et tous les matériaux nécessaires à la construction des maçonneries.

On n'aurait donc à percer, dans le tunnel même, au moyen des galeries inclinées, qu'une partie de la petite galerie d'axe qu'on peut évaluer à 1000 mètres pour chacune des galeries numéros 1, 2 et 3, et à 2000 mètres pour la galerie n° 4, soit en total à 5 kilomètres de longueur pour les quatre galeries.

Application aux divers passages des Alpes. — Parmi les divers passages qui ont été projetés à travers les Alpes, pour relier la France, l'Allemagne et la Suisse avec l'Italie, au moyen de voies ferrées, on peut citer ceux du Lautaret, du Splugen, du Bernardin, du Lukmanier, du Saint-Gothard, du Grimsel, de l'Albrun et du Simplon, qui présentent tous de longs tunnels. Nous allons indiquer approximativement dans quels délais ces divers tunnels pourraient être exécutés, en les construisant suivant le système que nous proposons.

Passage du Lautaret. — Le passage du Lautaret se trouve en France, sur le tracé du chemin de fer de Grenoble en Italie, par la vallée de la Romanche et Briançon, dont nous avons rédigé, en 1858, l'avant-projet, pour la compagnie des chemins de fer du Dauphiné.

Ce tunnel aurait 6,473 mètres et traverserait, sur la plus grande partie de sa longueur, les schistes ardoisiers de l'Oisans (lias, terrains secondaires d'âge incertain), et sur l'autre partie les grès à anthracite du Briançonnais (terrains secondaires, d'âge incertain), et peut-être sur un point des gneiss micacés et talqueux (terrains cristallisés). Il pourrait être entièrement construit à l'aide de puits, attendu que le point culminant n'est qu'à 356 mètres au-dessus du tunnel. Mais il serait préférable d'effectuer le travail à l'aide de plusieurs galeries inclinées et de trois ou quatre puits, dont le plus profond aurait 122 mètres environ.

En admettant qu'on employât des perforateurs à air comprimé et que la vitesse fût, comme au mont Cenis, de 400 mètres par atelier et par an, la construction de tout le tunnel exigerait 3 ans et 8 mois, conformément au détail suivant :

Temps perdu pendant l'installation des ateliers et des appareils.	1 an
850 mètres de longueur maxima à percer par un seul atelier.	2 ans 2 mois.
Parachèvement.	» 6 mois.
Total.	3 ans 8 mois.

Si l'on n'employait pas de perforateurs à air comprimé et que tout le travail fût fait à la barre à mines ordinaire, le tunnel pourrait être exécuté en 5 ans et 5 mois, conformément au détail que voici :

Installation des ateliers.	» 3 mois.
850 mètres de longueur maxima à percer, par un seul atelier à raison de 0m,50 en 24 heures, dans des schistes ardoisiers.	4 ans 8 mois.
Parachèvement.	» 6 mois.
Total.	5 ans 5 mois.

Dans ce dernier cas, afin d'avoir une grande marge, il conviendrait de rapprocher les galeries principales les unes des autres, et d'augmenter le nombre des embranchements et des puits.

Passage du Splugen. — Le tunnel projeté au Splugen aurait 12 kilomètres, la galerie la plus longue aurait 1300 mètres et la longueur de tunnel à effectuer, par un atelier à l'extrémité de cette galerie, serait de 125 mètres, ce qui forme une longueur totale de 1,425 mètres.

Comme nous ignorons la nature des roches traversées par ce tunnel et qu'elles offrent peut-être plus de difficultés que celles du mont Cenis, au lieu d'admettre une vitesse de 400 mètres par an, soit 1m,10 par jour, nous compterons seulement sur une vitesse moyenne de 1 mètre en 24 heures par atelier. Dans ce cas, la durée de la construction serait de 5 ans et 5 mois, d'après le compte suivant :

Temps perdu pendant l'installation des ateliers et des machines.	1 an »
1,425 mètres à exécuter au maximum par un même atelier, à raison de 1 mètre en 24 heures.	3 ans 11 mois.
Parachèvement.	» 6 mois.
Total.	5 ans 5 mois.

Passage du Bernardin. — La longueur du tunnel projeté au Bernardin est de 10,100 mètres.

La plus grande galerie aurait 950 mètres et la plus grande longueur à percer à la suite, par un même atelier, serait de 125 mètres. En calculant comme pour le Splugen, la durée des travaux serait de 4 ans et 6 mois.

Passage du Lukmanier. Projet par la vallée *Cristalline.* — Le tunnel de ce passage aurait 9,500 mètres. Nous avons donné aux rails une pente et une contre-pente de 0m,020 afin de réduire la longueur des grandes galeries, qui n'ont ainsi que 1,050 mètres. La longueur de tunnel à construire à la suite de chacune de ces galeries étant fixée à 125 mètres, la longueur totale à percer, par un seul atelier, serait, au maximum, de 1,175 mètres.

En admettant cette base et en calculant comme ci-dessus, on trouve 4 ans 9 mois pour la durée totale des travaux.

Passage du Saint-Gothard. — Ce tunnel, tel qu'il a été projeté, aurait 10 kilomètres. La longueur de la plus grande galerie inclinée serait de 1,200 mètres. La plus grande longueur à percer par un seul atelier serait donc de 1,325 mètres, en ajoutant 125 mètres pour la partie située dans le tunnel; et la durée des travaux, calculée comme nous l'avons fait pour les autres passages, c'est-à-dire en ne comptant que sur une vitesse de 1 mètre en 24 heures, serait de 5 ans et 2 mois.

Passage du Grimsel. — Le passage présente un tunnel de 9,750 mètres. Les plus grandes galeries auraient 1,050 mètres, soit 1,175 mètres, à construire par un atelier, qui exécuterait en sus de la plus grande galerie 125 mètres de tunnel.

En calculant comme ci-dessus la durée des travaux serait de 4 ans et 9 mois.

Passage de l'Albrun. Projet par le *Geispfad.* — Le tunnel que présente ce passage aurait 8,900 mètres. La longueur de la plus grande galerie serait de 1,500 mètres, soit, avec 125 mètres à percer dans le tunnel, 1,625 mètres à exécuter au maximum par un seul atelier.

En admettant les bases des calculs précédents l'exécution du tunnel exigerait 6 ans.

Passage du Simplon. — Enfin le souterrain projeté au passage du Simplon, aurait 9 kilomètres, et les plus grandes galeries 1,300 mètres. En calculant comme pour les autres tunnels, la durée des travaux serait de 5 ans.

Il est probable que les longueurs des galeries inclinées des divers passages que nous venons d'examiner pourraient être notablement réduites si les tunnels suivaient la direction des thalwegs : c'est-à-dire que la durée des travaux serait alors notablement diminuée.

§ 3. — Indications diverses pour l'application du système proposé.

Nous venons d'expliquer en quoi consiste essentiellement notre système pour percer de longs tunnels, à travers des montagnes élevées; nous allons faire connaître maintenant quelques dispositions de détail, quelques appareils que nous avons étudiés pour appliquer ce système.

Pente des galeries. — La pente des galeries inclinées, indiquée sur les planches, est de 50 p. 100, c'est-à-dire de 2 de base pour 1 de hauteur. C'est l'inclinaison d'un escalier en pente douce; c'est l'inclinaison que

l'homme peut gravir assez facilement, même sans escalier. Mais cette pente n'a rien d'absolu; elle pourra varier suivant le profil, suivant la nature du terrain, suivant la disposition des couches, et devra même quelquefois varier pour une même galerie. C'est avant tout la facilité du travail qui devra servir de guide. Il arrivera même quelquefois qu'une galerie pourra avantageusement se glisser entre deux couches de roche et en suivre les ondulations.

Section des galeries. — Une section verticale de $2^m,20$ de hauteur sur $2^m,40$ de largeur nous semble suffisante pour les galeries inclinées. Elle permettra de faire jouer la mine d'une manière suffisamment efficace, et n'est pas trop grande pour que des étaiements ne puissent pas facilement être faits s'ils devenaient nécessaires.

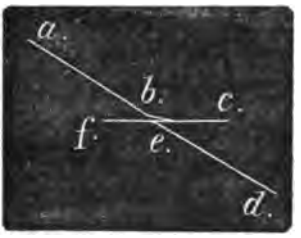
Sur le milieu de cette galerie sera posée une voie de fer de $0^m,80$ environ de largeur; l'un des accotements recevra un escalier et l'autre deux tuyaux, l'un pour conduire l'air comprimé nécessaire à la ventilation et à la marche de tous les appareils, l'autre destiné au passage des eaux d'épuisement. Les appareils d'épuisement seront placés en dehors de la galerie, dans des niches pratiquées à cet effet. Un troisième tuyau rectangulaire, d'une section un peu grande et qui pourra être formé simplement de planches clouées ensemble, sera fixé contre la paroi verticale de la galerie et servira à la ventilation, ainsi que nous l'expliquerons.

Manœuvre des wagons. — Entre les rails, qui seront posés sur des traverses, on établira de loin en loin des poulies destinées à supporter les câbles en fil de fer qui serviront à remorquer les wagons.

Les câbles s'enrouleront sur des tambours mis en mouvement par des machines à air comprimé.

Les longues galeries seront divisées en plusieurs sections, ayant au maximum 4 ou 500 mètres de longueur, de manière à éviter l'emploi de câbles trop lourds et à faciliter le service, en permettant de faire circuler simultanément plusieurs trains de wagons dans la même galerie.

A la jonction de deux sections, la voie ferrée *ab*, venant d'amont, se déviera dans une galerie horizontale *bc*, placée sur le côté, et la voie *de*, arrivant d'aval, passera sous la voie d'amont dans une galerie horizontale *ef*, située au niveau de la galerie *bc* et dans une direction opposée. Ces deux galeries, qui serviront à garer et à former les trains, seront réunies par une partie horizontale, supportant une voie de jonction permettant de faire passer par rebroussement les wagons d'une galerie dans l'autre.



Dans le fond de la galerie horizontale *ef*, se trouvera la machine à air comprimé qui mettra en mouvement le câble de la voie d'aval *ed*.

Cette disposition diminuera les chances d'accidents, attendu qu'un wagon abandonné sur le plan incliné supérieur viendrait s'arrêter dans la gare, au point *c*, et ne pourrait plus continuer sa course sur le plan incliné inférieur.

Une gare *g h*, analogue à celle que nous venons d'indiquer, sera adoptée à chaque bifurcation de galerie. Seulement, il faudra en outre à chacune de ces gares des plaques tournantes pour retourner les wagons, et faciliter la formation des trains.

Wagons. — Les wagons seront munis de roues à rochet, de manière qu'un wagon chargé ne puisse redescendre, en cas de rupture du câble, que par glissement des roues sur les rails; ils seront en outre pourvus, de chaque côté, de *béquilles* qui traîneront sur le sol à l'arrière. En cas de rupture du câble, cet appareil très-simple s'opposerait à la descente du wagon en se piquant, par le seul effet du recul, entre les traverses et en agissant d'une manière analogue à la chambrière d'une charrette. Quand on ne voudra pas que ces béquilles fonctionnent, on les accrochera sur les côtés du wagon.

A la descente, les trains étant vides, la rupture du câble n'est pas à redouter; mais comme les wagons devront quelquefois servir au transport des ouvriers, ils pourront être pourvus, de chaque côté, d'un simple levier fixé par un fort boulon sur le châssis du wagon. En soulevant le grand bras de ce levier, l'extrémité du petit bras s'abaissera et sa pointe, frottant alors énergiquement sur le sol, en arrière du wagon, permettra de diminuer successivement la vitesse et d'arrêter le véhicule, dont plusieurs roues devront d'ailleurs être enrayées avant le départ. Ces freins fonctionneront à peu près comme les crampons placés à l'arrière des traîneaux, et que l'on fait agir à volonté, sur la glace ou la neige, à la descente des montagnes.

Quand les freins ne devront pas fonctionner, ils seront relevés et accrochés sur les côtés du wagon.

Épuisements. — Les épuisements seront faits à l'aide d'appareils automoteurs mus par l'air comprimé, et élevant l'eau d'étage en étage, de manière à éviter les fortes pressions. La hauteur des étages correspondra à la tension de l'air comprimé qu'on aura à sa disposition; ainsi, au tunnel du mont Cenis elle pourrait être de 40 à 50 mètres.

Chaque appareil se compose essentiellement d'un réservoir d'approvisionnement A (Pl. 27, *fig.* 5) et d'un récipient fermé B, contenant un flotteur F, assez étroit pour laisser facilement circuler l'eau et l'air sur ses

côtés. Ce flotteur est muni d'une tige rectangulaire verticale, sortant au-dessus du récipient en passant dans une boîte à étoupes, et il communique son mouvement alternatif à un tiroir S à l'aide de la came H, dans laquelle passe la tige du tiroir.

Les eaux trouvées dans la galerie, en aval de l'appareil, sont envoyées dans le réservoir A, par le tuyau C, soit à l'aide d'une pompe, quand le fond de la galerie est voisin de l'appareil, soit par l'appareil automoteur placé immédiatement au-dessous, dans le cas contraire. Quant aux eaux trouvées en amont, elles arrivent directement, par l'effet de la pente, dans le réservoir A, par le tuyau D.

Comme le réservoir A est plus élevé que le récipient B, les eaux de ce réservoir ouvrent le clapet E et remplissent le récipient en soulevant le flotteur. Quand ce dernier arrive brusquement au sommet de sa course, la came H frappe la saillie N, ce qui fait marcher le tiroir et permet à l'air comprimé d'entrer dans le récipient. Cet air presse la surface du liquide, le clapet E se ferme et l'eau s'échappe par le tuyau U, en soulevant le clapet G. A mesure que le récipient se vide, le flotteur s'abaisse; et quand il arrive à l'extrémité de sa course, il est animé, ainsi que l'eau, d'une force vive, et sa came H, frappant le talon de la came O, fait de nouveau mouvoir le tiroir, intercepte ainsi l'entrée de l'air comprimé et ouvre l'orifice d'échappement. Le clapet G se ferme alors et l'appareil commence une nouvelle évolution.

Si l'on ne rencontrait que très-peu d'eau dans la galerie, et de manière qu'elle n'arrivât pour ainsi dire que goutte à goutte dans l'appareil, le flotteur, montant alors très-lentement, ne pourrait pas acquérir une force vive suffisante et ferait marcher trop lentement le tiroir, qui n'ouvrirait peut-être qu'imparfaitement l'orifice d'introduction de l'air comprimé. Pour éviter ce résultat, la tige du tiroir est munie de la came O, chargée d'écarter les deux lames du ressort I. La course du flotteur est retardée par cette résistance au moment où le tiroir commence à être mis en mouvement, puis le flotteur finit par surmonter l'obstacle, à cause de la force ascensionnelle que lui donne l'exhaussement successif du niveau du liquide, et, animé alors d'une force vive, d'autant plus forte que sa marche a été plus longtemps retardée, il fait subitement accomplir toute sa course au tiroir. Le même mouvement a lieu en sens inverse, quand le flotteur descend, ce qui produit, dans une certaine limite, la détente de l'air comprimé, si l'on règle l'appareil de manière que le temps d'arrêt ait lieu alors que le tiroir ferme les deux lumières.

L'air comprimé, après avoir servi au travail d'épuisement, s'échappe à l'extérieur ayant encore une pression un peu supérieure à la pression correspondante à la hauteur de la colonne d'eau qui réunit les deux étages. Afin d'utiliser cette pression, on adapte à l'orifice d'échappement un tuyau recourbé, dont l'extrémité L (*fig.* 6) vient déboucher dans le large tuyau en bois, dont nous avons parlé précédemment, qui règne

dans toute la longueur de la galerie, et qui est ouvert à ses deux extrémités. Le jet d'air comprimé, s'échappant avec impétuosité de l'orifice L, produira l'effet de l'échappement de la cheminée d'une machine locomotive, et déterminera dans le tuyau en bois un courant d'air descendant venant de l'extérieur de la galerie et qui augmentera la ventilation. Le refroidissement notable que l'air comprimé produira en se dilatant, au moment où il s'échappera, favorisera la marche de ce courant. Il résulte de cette disposition que les gaz chauds et délétères, provenant de la combustion de la poudre, des lampes, etc., pourront monter librement et rapidement dans la galerie sans être contrariés dans leur marche par les courants descendants.

Si l'air comprimé s'échappant des appareils n'était pas en quantité suffisante pour assurer la ventilation, on ferait arriver directement dans le tuyau en bois des jets d'air comprimé.

Il est important que l'appareil d'épuisement puisse marcher sous l'eau dans le cas où il serait accidentellement submergé par une inondation. Pour atteindre ce but, on a placé sur le tuyau d'échappement, près de la boîte du tiroir, un clapet disposé de manière qu'il soit maintenu ouvert par un flotteur Q, pendant la durée de l'inondation. L'air provenant de l'appareil pourra ainsi s'échapper par sa seule force ascensionnelle, lorsque sa pression sera égale à celle de l'eau environnante.

Quand les travaux seront arrivés dans l'intérieur du tunnel, c'est-à-dire dans des galeries à peu près horizontales, les appareils d'épuisement seront placés dans des excavations, au-dessous du niveau du sol de ces galeries, afin que les eaux s'y rendent seules par la pente naturelle qui aura été ménagée.

Si la hauteur des étages était de 50 mètres, par exemple, l'air comprimé s'échapperait des appareils d'épuisements avec une tension un peu supérieure à cinq atmosphères effectives. On pourrait utiliser cette tension pour les épuisements, en adoptant une deuxième rangée d'appareils automoteurs et une deuxième ligne de tuyaux. Dans ce cas, les étages seraient de 50 mètres pour la moitié des appareils et de 25 mètres pour l'autre. Les appareils seraient placés deux à deux, ainsi que cela est indiqué en plan (*fig.* 7). L'appareil *a* monterait l'eau à 50 mètres, au réservoir des appareils *c* et *c'*, puis enverrait son air comprimé à l'appareil *a'* qui monterait l'eau à 25 mètres, au réservoir des appareils *b* et *b'*. L'appareil *b* monterait l'eau à 50 mètres au réservoir des appareils *d* et *d'*, puis enverrait son air à l'appareil *b'* qui monterait l'eau à 25 mètres jusqu'au réservoir des appareils *c* et *c'*, en profitant du tuyau *ac*, dont la section pourrait être un peu plus grande de *b'* en *c* que de *a* en *b'*. L'appareil *c* monterait l'eau à 50 mètres, au réservoir des appareils *e* et *e'*, puis enverrait son air à l'appareil *c'* qui monterait l'eau à 25 mètres, au réservoir des appareils *d* et *d'* en profitant du tuyau *bd*, et ainsi de suite jusqu'au sommet de la galerie.

Dans ce système les appareils automoteurs seraient semblables à celui que nous avons décrit. Seulement les tuyaux d'échappement des appareils *a*, *b*, *c*, etc., se rendraient dans les boîtes à tiroir des appareils *a'*, *b'*, *c'*, etc.; et ce sont les tuyaux d'échappement de ces derniers appareils qui se rendraient, pour les besoins de la ventilation, dans le large tuyau en bois régnant dans toute la longueur de la galerie. De plus, les tiroirs des appareils *a' b' c'*, etc., seraient disposés de manière que les deux lumières soient découvertes pendant la durée de l'échappement. Quant aux clapets à flotteur, prévus pour les cas d'inondation, ils seraient placés seulement sur les tuyaux d'échappement des appareils *a*, *b*, *c*, etc.; de sorte, que ces derniers appareils fonctionneraient seuls en cas d'inondation.

Les appareils *a*, *b*, *c*, etc., devraient, en outre, présenter la disposition suivante indiquée sur la figure 5 de la planche 27. — Le flotteur F porterait à sa partie inférieure une rondelle en caoutchouc K, qui viendrait fermer l'orifice M, quand le flotteur serait à l'extrémité de sa course, et qui empêcherait toute fuite de l'air comprimé par cet orifice. Mais afin que le flotteur pût ensuite être soulevé par l'eau du tuyau P, on ménagerait une rentrée d'eau dans le récipient, au moyen du tuyau R, fermé à sa base par un clapet laissant entrer l'eau dans le récipient, mais s'opposant à sa sortie.

On donnerait aux appareils automoteurs *a'*, *b'*, *c'*, etc. (*fig.* 7), une capacité un peu moins grande que celle indiquée par le calcul, afin d'être certain d'avoir toujours une quantité d'air comprimé suffisante pour les faire fonctionner régulièrement.

En cas de réparations d'un ou plusieurs appareils, les épuisements pourraient continuer à fonctionner sans interruption, avec une partie des autres appareils. Il suffirait pour cela d'isoler des réservoirs d'approvisionnement, à l'aide de robinets, les appareils qui l'exigeraient, et d'ouvrir les clapets d'échappement là où cela serait nécessaire. Ainsi, si l'appareil *b* était en réparation, les appareils *a*, *c*, *c'*, *d*, *d'*, *e*, *e'*, etc., continueraient à marcher; mais on isolerait l'appareil *a'* du réservoir d'approvisionnement commun aux appareils *a* et *a'*, et on ouvrirait le clapet d'échappement de l'appareil *a*.

Nous pensons qu'il sera presque toujours préférable de n'adopter qu'une seule rangée d'appareils, surtout quand on aura, comme au mont Cenis, de la force motrice à discrétion. L'installation sera ainsi beaucoup plus simple, et la régularité de la marche beaucoup mieux assurée. Il sera notamment tout à fait inutile que le flotteur qui manœuvre le tiroir distributeur de l'air comprimé, dans chaque réservoir inférieur, soit obturateur. Une partie de cet air pourra bien alors passer directement dans la conduite P (*fig.* 5) avec l'eau qu'il y chassera; mais cette quantité d'air, qu'elle soit faible ou forte, non-seulement ne nuira pas à la bonne marche de l'appareil, mais l'améliorera en amortissant les chocs

dans les tuyaux, et en augmentant l'effet utile, puisqu'elle poussera devant elle un volume d'eau équivalent.

Toutes les dispositions qui précèdent peuvent être appliquées non-seulement à la construction des tunnels, grands ou petits, mais aussi à tous les travaux de mines. Les pompes employées dans les mines ne peuvent être convenablement installées que dans des puits verticaux, dans des puits droits; et quand la profondeur est grande, les arbres de transmission sont lourds à mouvoir et absorbent une partie notable du travail moteur. Il y aurait donc presque toujours avantage à remplacer les pompes par les appareils dont la description précède et à comprimer de l'air qui servirait à la fois aux épuisements et à la ventilation. Ces appareils peuvent, en effet, marcher à faible pression en diminuant la hauteur des étages, ou à haute pression en augmentant cette hauteur, et ils permettent d'utiliser des moteurs situés à de grandes distances. En outre, le système est d'une grande flexibilité, et peut s'appliquer avec le même avantage dans des puits verticaux ou inclinés, dans des galeries horizontales, inclinées, droites, tortueuses, accidentées, où l'emploi des pompes n'est pas économiquement praticable. Il a l'avantage d'être automoteur, c'est-à-dire que, une fois réglé convenablement, il se met de lui-même en marche ou s'arrête, suivant les besoins du service, et sans le secours de personne : si l'eau est abondante, le flotteur fera 8 ou 10 courses par minute; si elle est en faible quantité, il ne fera qu'une course toutes les heures, ou tous les jours, ou même tous les huit jours, etc. Enfin, condition importante, l'appareil marchera seul, sous l'eau, en cas d'inondation subite des galeries.

Cuvelages. — En perçant des galeries dans des roches à peu près imperméables, on trouve quelquefois des failles donnant de l'eau.

Si l'exécution d'une galerie offrait de ces failles, au lieu de faire des épuisements qui seraient peut-être considérables, on exécuterait des cuvelages. Un cuvelage efficace pourrait être construit de la manière suivante :

On dégarnirait l'intérieur de la faille sur une certaine profondeur tout le tour de la galerie, en piochant la roche jusqu'au vif. On remplirait ensuite l'excavation en béton de ciment, jusqu'au niveau du sol de la galerie, de manière à former un radier général; on placerait de chaque côté, au bas des pieds-droits, un tuyau en métal assez large pour donner passage à toutes les eaux, et on remplirait le reste de la faille en maçonnerie de ciment, de manière à former deux pieds-droits et une voûte solides. Quand cette construction aurait atteint une dureté convenable, on boucherait les tuyaux avec des tampons en bois que l'on assujettirait solidement. L'eau serait ainsi forcée de reprendre son cours primitif, et il ne resterait à épuiser que les infiltrations qui pourraient se produire.

Perforateurs du mont Cenis. — Avant de faire connaître les perforateurs que nous avons étudiés pour exécuter les galeries inclinées et les galeries horizontales, qu'il nous soit permis de rappeler d'abord en quelques mots en quoi consistent ceux employés au tunnel du mont Cenis.

Chaque perforateur fait un trou de mine; il pèse environ 200 kilogr., non compris l'affût qui le supporte; sa longueur est de 2m,70, et il présente deux cylindres à air comprimé, ayant chacun 0m,06 de diamètre. L'un des cylindres contient le piston percutant dont la course est au maximum de 0m,20, et qui porte en avant, à l'extrémité de sa tige, la barre à mines et en arrière, sur le prolongement de cette tige une roue à rochet, fixée invariablement, et une grosse vis folle. Cette vis, lorsqu'elle est embrayée, au moyen d'un manchon poussé par un ressort à boudin, tourne et fait avancer le cylindre sur ses deux longerons. A cet effet, les longerons sont entaillés sur leurs faces internes en forme d'écrou, dans lequel peut se mouvoir la vis, et à l'extrémité de leurs faces externes en crémaillère, contre les dents de laquelle vient butter une espèce de fourchette lorsque, par suite de l'approfondissement du trou de mine, le piston arrive à l'extrémité de sa course. Cette buttée détermine l'embrayage et la progression en avant du cylindre et de ses accessoires.

L'autre cylindre, qui fonctionne comme une machine à vapeur ordinaire, et dont le piston a 0m,10 de course, est chargé : 1° de mettre en mouvement le tiroir du premier cylindre; 2° de faire, à chaque coup de la barre à mines, avancer d'une dent la roue à rochet fixée invariablement sur le prolongement de la tige du piston percutant, ce qui détermine la rotation de la barre à mine, et en outre, lorsque l'embrayage fonctionne, la rotation de la grosse vis et la progression en avant du premier cylindre. Les choses sont disposées de manière qu'on puisse, s'il y a lieu, percer un trou de 0m,80 sans changer la barre à mines.

Huit perforateurs sont montés sur un affût, du poids de 15 à 16 tonnes, roulant sur un chemin de fer. En arrière de cet affût se trouve une espèce de tender portant, dans des récipients en tôle de forme cylindrique, l'eau nécessaire à injecter les trous de mines et sur laquelle agit l'air comprimé.

L'ensemble de ce système occupe presque toute la largeur de la galerie (3m,50 à 4m,00), et quoique son poids soit déjà considérable, il est question de l'augmenter encore, afin d'obtenir une solidité qui permette de poser sur la machine des étais pour soutenir la roche quand des éboulements peuvent être à craindre.

De nombreux tubes en caoutchouc et en métal distribuent l'air comprimé aux perforateurs et l'eau aux trous de mines.

ndres à air comprimé permettent d'éloigner facilement tout le

système du fond de la galerie quand les mines vont faire explosion et de le rapprocher quand les perforateurs doivent fonctionner.

Quand chacun des huit perforateurs a percé 9 ou 10 trous, on recule les machines en arrière de portes en bois servant de bouclier; on sèche 15 ou 16 trous, on les charge avec des cartouches et on y met le feu, de manière que les explosions soient successives et puissent être comptées. La fumée étant alors très-épaisse, on ouvre un robinet qui donne l'air comprimé nécessaire à la ventilation, puis on recommence à charger un certain nombre de trous et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les trous aient fait explosion. On régularise ensuite la surface de la roche; on place les déblais sur de très-petits wagons, dont les roues ont environ $0^m,10$ de hauteur et qui circulent dans les étroits passages ménagés à côté des machines; on transborde enfin ces déblais dans de grands wagons qui attendent en arrière.

C'est après ces diverses opérations qui ont exigé, comme nous l'avons vu, 7 heures 24 minutes en moyenne, en 1862, que les machines sont avancées pour fournir un nouveau travail de 7 à 8 heures de durée.

Ces perforateurs, qui coûtent, nous a-t-on dit, plus de 2000 fr. chacun, fonctionnent très-bien; mais ce sont, en définitive, des machines très-délicates, dont les organes s'usent rapidement, parce qu'ils sont exposés sans défense à la boue, à la poussière, etc., ce qui produit de grands frottements, et qu'ils sont, en outre, soumis à des chocs qui se succèdent rapidement.

Chaque appareil a, comme nous l'avons dit, $2^m,70$ de longueur et le centre d'oscillation est très-éloigné de la roche à perforer. Il en résulte que les trous de mines sont toujours à peu près perpendiculaires au fond de la galerie, qu'ils produisent peu d'effet, et que ce n'est que la multiplicité des trous qui permet d'arriver aux résultats obtenus. Enfin, la grande surface occupée par tout le système rend très-difficiles les étayements, inconvénient qui pourra devenir un obstacle des plus sérieux et suspendre peut-être l'emploi des appareils quand on rencontrera les roches bouleversées renfermées dans la large faille qui sépare les grès houillers de Modane et les schistes de Bardonnèche. La grande masse que tout l'ensemble de ces appareils présente en rendrait d'ailleurs l'emploi peu commode dans des galeries inclinées.

Perforateurs proposés. — Les perforateurs que nous proposons n'ont pas ces inconvénients. Ils ne présentent ni embrayage, ni crémaillères, ni glissières entaillées en forme d'écrou. Au lieu de $2^m,70$, ils n'ont que $0^m,97$ de longueur; au lieu de peser 200 kilogr., ils ne pèsent que 80 kilogr., quoiqu'ils aient plus de puissance que ceux du mont Cenis. Au lieu d'être montés au nombre de huit sur un affût occupant toute la largeur de la galerie, et du poids de 15 à 16 tonnes, soit de deux tonnes par perforateur, ils sont montés au nombre de six sur une poutre placée verti-

calement, n'occupant que quelques décimètres de surface et ne pesant que 300 kilogr. environ, soit 50 kilogr. par perforateur; au lieu de placer seulement huit perforateurs dans une galerie de $3^m,50$ à $4^m,00$ de largeur, on en place douze dans une galerie de $2^m,40$ de largeur, tout en ménageant des emplacements suffisants pour le service et pour les étayements; au lieu de percer les trous presque perpendiculairement au fond de la galerie, on les perce aussi inclinés qu'on le désire, et à peu près comme pourrait le faire un ouvrier avec une barre à mines ordinaire.

Il résulte de ces améliorations que les appareils sont d'un prix beaucoup moins élevé, et que les frais d'entretien et de main-d'œuvre seraient beaucoup moins considérables. Il en résulte surtout que la vitesse d'exécution serait considérablement augmentée, ainsi qu'on va le voir.

Nous avons dit que les huit perforateurs travaillant à la fois au fond de la galerie du mont Cenis, du côté de Bardonnèche, ont fait chacun en moyenne, en 1862, 9 trous 39 centièmes par reprise de travail de 7 heures 39 minutes, soit un trou en 49 minutes, et qu'il y a eu par mètre carré de section 6 trous 82 centièmes. Nos perforateurs devant être placés au nombre de 12 dans une galerie ayant seulement $5^m,28$ de section ($2^m,40 \times 2^m,20$) perceraient chacun 4 trous seulement par reprise de travail. En admettant que le forage d'un trou exigeât, comme avec les appareils du mont Cenis, 49 minutes, chaque reprise de travail des perforateurs ne serait que de 3 heures 16 minutes, au lieu de 7 heures 39 minutes; et pendant cette courte reprise de travail la roche serait cependant percée de 9 trous 9 centièmes par mètre carré, tandis qu'au mont Cenis elle n'est percée que de 6 trous 82 centièmes en 7 heures 39 minutes; c'est-à-dire que la durée de cette partie du travail serait réduite de plus de moitié.

Quant au temps employé entre deux reprises de travail, pour charger les mines, les faire partir et déblayer les matériaux, il subirait aussi une grande réduction. En effet, on n'aurait que 48 trous de mines, au lieu de 75, à faire partir; on n'aurait que $3^m,43$ de déblais à enlever, au lieu de $7^m,15$. En outre, les mines seraient disposées de manière à produire plus d'effet et elles seraient chargées d'après un procédé que nous indiquerons et qui ferait aussi gagner du temps, tout en augmentant l'effet utile des explosions.

En somme, la durée de tous les travaux serait réduite au moins de moitié, de telle sorte que, si on peut percer 400 mètres de galerie en moyenne par année avec les perforateurs du mont Cenis, on en percerait probablement 800 avec nos appareils.

Passons maintenant à la description de ces appareils.

Chaque perforateur se compose d'un cylindre AB (Pl. 28, *fig.* 8) de $0^m,08$ de diamètre, contenant un piston percutant C, mû par l'air comprimé et ayant une course variable qui peut atteindre $0^m,60$ au maximum. Ce piston est percé au centre d'une ouverture rectangulaire

donnant un facile passage à l'air comprimé, ainsi qu'à une verge rectangulaire D E qui s'introduit dans l'intérieur de la tige du piston. Cette verge est cylindrique à l'extrémité fixée dans le fond du cylindre et traverse une boîte à étoupe F dans laquelle elle peut tourner sans avancer ni reculer, ce qui fait tourner en même temps le piston, à quelque point de sa course qu'il se trouve, et détermine, en conséquence, la rotation de la barre à mines fixée, à l'aide d'une clavette, à l'extrémité de la tige du piston. Ce mouvement de rotation se produit au moyen de la roue dentée G, fixée au bout de la verge et qui s'engrène avec la roue H, calée sur le même essieu que la roue à rochet H'. A chaque course du tiroir I, cette roue à rochet est entraînée par la tige de ce tiroir, et la barre à mines tourne d'une quantité suffisante pour que le ciseau de cette barre ne donne pas deux coups de suite à la même place.

Le mouvement en arrière du tiroir I lui est imprimé par les cames du pignon K, commandé par une petite machine semblable à une machine à vapeur ordinaire, et qui est renfermée à l'intérieur de la poutre placée verticalement dans la galerie. Cette poutre porte six perforateurs dont les tiroirs sont tous mis en mouvement par cette petite machine. Le mouvement en avant du tiroir I est produit par la pression de l'air comprimé sur le petit piston que forme la tige du tiroir au point L, et qui remplace la boîte à étoupes.

Le tiroir, dans sa marche, ferme et ouvre successivement la lumière M qui ne sert qu'à l'introduction de l'air comprimé derrière le piston percutant, et la lumière N qui a pour fonction unique de laisser sortir cet air quand il a fourni son travail, et de permettre qu'il s'écoule alors à l'extérieur par la lumière d'échappement O. Cette disposition a pour but de maintenir un matelas d'air au fond du cylindre pour amortir le choc du piston quand ce dernier arrive à l'extrémité de sa course.

Quant à la lumière P, elle amène l'air comprimé en avant du piston percutant et reste toujours ouverte à l'introduction de cet air. Le canal qui conduit de cette lumière au cylindre présente une bifurcation munie d'un clapet à boulet Q, permettant l'introduction de l'air dans le cylindre, mais qui s'oppose à sa sortie. Le but de cette disposition est aussi d'obtenir au fond du cylindre un matelas d'air destiné à amortir le choc à l'extrémité de la course du piston, tout en permettant au piston de reculer ensuite, même dans le cas où il y aurait des fuites par les joints de la boîte à étoupes ou du piston.

L'air comprimé agit constamment en avant du piston et, quoiqu'il n'y ait pas d'échappement de ce côté, le mouvement de va-et-vient s'établit parce que la surface pressée n'est que de 16 centimètres carrés en avant, tandis qu'en arrière elle est de 50 centimètres.

A l'orifice extérieur de la lumière d'échappement O, un robinet R (*fig.* 9 et 10, Pl. 28), a été ménagé afin de pouvoir régler la vitesse de sortie de l'air et par conséquent la vitesse du piston pendant sa

marche en arrière. Cette disposition a pour objet de permettre de ne pas utiliser toute la course disponible du piston, quand cette course a augmenté par suite de l'enfoncement de la barre à mines, et de donner, par conséquent, des coups moins forts, mais plus fréquents; elle permet de régler la force des coups et supprime en même temps les chocs pendant la marche en arrière, exactement comme si l'ouvrier menait la barre à mines à la main.

Ainsi, par exemple, si l'on veut que la course du piston soit régulièrement de 10 à 15 centimètres, pendant toute la durée du travail, on réglera le robinet d'échappement, de manière que le piston ne recule que de 10 à 15 centimètres pendant la durée d'un coup de came.

Cette disposition augmente bien la dépense d'air comprimé pendant la marche de l'appareil, puisque la course du piston reste toujours la même, tandis que les cylindrées vont en augmentant de volume, à mesure que le trou de mine s'approfondit; mais cela est sans inconvénient, attendu que cet air sert à la ventilation et qu'en définitive la dépense totale est la même, puisqu'on est obligé, dans tous les cas, d'ouvrir la conduite d'air pour ventiler la galerie quand des mines viennent de faire explosion. Dans notre système on donnera alors un peu moins d'air qu'on ne le fait au mont Cenis; voilà tout.

Nous avons dit que la course maxima que peut fournir l'appareil est de $0^m,60$. Si l'on admet que le forage du trou commence avec une course de $0^m,05$, on pourra, sans changer la barre à mines, percer un trou de $0^m,55$ de profondeur, et en la changeant une fois porter la profondeur du trou à $1^m,10$. Avec les appareils du mont Cenis on peut percer un trou de $0^m,80$ sans changer la barre, quand toutefois le tranchant de cette barre n'est pas usé avant cette profondeur; mais, en réalité, ainsi que nous l'avons vu, la profondeur moyenne percée sans changer la barre n'a été, en 1862, que de $0^m,47$. On pourrait d'ailleurs, sans changer la barre, percer des trous de $0^m,80$, en portant à $1^m,22$ la longueur totale de nos perforateurs; mais nous croyons qu'il est préférable de conserver la longueur de $0^m,97$ que nous leur avons donnée.

Poutre portant les perforateurs. — La poutre qui porte les perforateurs est en tôle (*fig.* 11, 12 et 13, Pl. 28). Elle a $1^m,75$ de hauteur, non compris les saillies variables que forment huit forts vérins fixés dans les angles, quatre en haut et quatre en bas et qui, fortement serrés entre le plafond et le plancher de la galerie, maintiennent tout le système dans une position à peu près verticale. Elle peut fonctionner dans une galerie de $1^m,90$ de hauteur. Elle doit être, ainsi que les vérins, d'une solidité convenable pour bien résister aux chocs les plus violents; et, en la mettant en place, on doit avoir soin d'engager suffisamment l'extrémité des vérins dans des cavités ménagées dans la roche, de manière que tout le système résiste parfaitement, quels que soient les chocs, les vibrations et

les réactions qui pourront se produire pendant le travail des perforateurs. Les cavités seront préalablement préparées, à l'aide de la pointe d'un outil, en profitant des excavations que présentera la roche, et elles seront disposées de manière que la poutre ne puisse pas glisser et qu'elle travaille, à peu près, comme si elle reposait sur deux appuis par ses extrémités. De plus, pour obtenir un serrage énergique, on pourra placer entre le rocher et les vérins des rondelles en cuir, ou en toute autre matière légèrement compressible.

Les six perforateurs sont fixés, à l'aide de boulons, à droite et à gauche de la poutre, et ils peuvent recevoir l'inclinaison que l'on désire. On peut même faire croiser les barres à mines d'une même rangée de perforateurs, car il suffit pour cela d'éloigner suffisamment de la poutre, à l'aide de cales d'écartement, le perforateur dont la barre doit se croiser avec les autres barres à mines. Les pignons à cames doivent avoir une largeur suffisante pour permettre cette manœuvre.

La petite machine à air comprimé (*fig.* 12, Pl. 28), placée à l'intérieur de la poutre et à sa partie inférieure, est verticale, son cylindre *m* a $0^m,10$ de diamètre et son piston $0^m,08$ de course. L'arbre de couche *a b* traverse la poutre dans son épaisseur et présente, à gauche de la bielle qui le met en mouvement, l'excentrique qui fait marcher le tiroir, un volant de $0^m,30$ de diamètre et un pignon qui fait tourner une série de roues dentées. Tous ces organes sont renfermés dans la poutre qui est hermétiquement fermée et, par conséquent, sont parfaitement à l'abri du contact de toute matière nuisible.

Un des côtés de la poutre est assemblé avec des boulons pour permettre de faire les réparations nécessaires et, en outre, une petite porte est ménagée pour qu'on puisse visiter la machine pendant la marche.

Les deux pignons à *une came a* et *b*, faisant partie des deux perforateurs inférieurs, viennent chacun coiffer l'une des extrémités de l'arbre de couche, en dehors de la poutre, et sont chargés de mettre en mouvement les tiroirs de ces deux perforateurs. A chaque tour de l'arbre, les tiroirs font une course et les deux barres à mines donnent un coup. En admettant que cet arbre fasse trois tours par seconde, ce qui nous semble une vitesse convenable, les barres à mines des deux perforateurs donneront trois coups par seconde ou 180 coups par minute.

Les arbres *c d* et *e f* reçoivent leur mouvement des roues dentées situées dans la poutre, et ils font un tour pendant que l'arbre de couche *a b* en fait trois. Ces deux arbres sont coiffés, à chacune de leurs extrémités, de pignons à *trois cames* chargés de faire fonctionner les tiroirs des quatre perforateurs placés au milieu et à la partie supérieure de la poutre. Ces perforateurs marchent donc avec la même vitesse que ceux placés à la partie inférieure, et donnent, comme eux, trois coups par seconde, quand l'arbre de couche de la petite machine fait trois tours par seconde.

Lorsque la poutre est en place, armée de ses six perforateurs, il est facile de la changer de position et même de la faire cheminer, de manière à percer successivement plusieurs rangées de trous. Il suffit pour cela de desserrer un peu les vérins et de pousser avec un levier la poutre par le pied, en la maintenant dans la position verticale au moyen d'étais, pour prévenir toutes chances d'accident.

Avant que les perforateurs ne marchent, on consolide au besoin la poutre, en plaçant en arrière des étais formant arcs-boutants et qui peuvent être munis de vérins pour faciliter le serrage. Plusieurs saillies sont ménagées, à cet effet, sur la surface de la poutre.

Si le travail a lieu dans une galerie inclinée, la poutre, au lieu d'être placée verticalement, pourra être penchée en avant; on augmentera ainsi sa solidité et on facilitera les manœuvres.

Supports des barres à mines et des injecteurs. — Chaque poutre est accompagnée d'un appareil destiné à soutenir l'extrémité des barres à mines, au moment où elles commencent les trous, et de supporter, en outre, le bout des tuyaux chargés d'injecter de l'eau dans les trous, pendant le forage.

Cet appareil est fort simple. Il se compose d'une solive en bois AB (*fig.* 13), munie d'un vérin à son extrémité supérieure et que l'on place à peu près verticalement dans la galerie, en serrant le vérin contre le ciel. Cette solive présente à droite et à gauche des supports mobiles, serrés au moyen de vis, pour soutenir, à la hauteur voulue, les barres à mines ainsi que les injecteurs. Chaque injecteur est composé d'un tuyau en caoutchouc à l'extrémité duquel est adapté un tube en cuivre muni d'un robinet. Les tubes en cuivre sont introduits dans les ouvertures de genouillères ménagées sur les supports, où ils sont maintenus dans une position convenable au moyen de vis. Afin que les différentes vis de cet appareil ne puissent pas s'égarer, elles doivent présenter à leur extrémité une petite rivure qui les empêche de s'échapper des ouvertures dans lesquelles elles sont placées.

L'eau nécessaire aux injecteurs est empruntée à l'un des appareils d'épuisements voisins, de manière que la différence de niveau soit toujours assez grande pour produire un jet suffisamment énergique. Si la galerie n'a pas d'eau, on placera sur le côté, à une distance convenable en amont, un récipient mobile dans lequel sera approvisionnée l'eau nécessaire. Si la galerie est horizontale, ce récipient sera, comme au mont Cenis, mis en communication avec l'air comprimé, de manière à obtenir des jets d'eau assez énergiques.

Position des trous de mines dans la galerie. — La figure 14 indique en plan les positions que devront, le plus ordinairement, avoir les trous de mines. On percera simultanément les quatre rangées de trous *ab*, *cd*,

gd, *ef*. Quand six trous seront percés dans chacune de ces rangées, on changera la position des poutres et l'on percera six trous dans chacune des quatre dernières rangées *gf*, *hi*, *kl*, *mn*.

Wagons-grues pour enlever les perforateurs. — Quand tous les trous seront percés, on approchera un wagon muni de deux grues destiné à emporter à la fois les deux poutres avec tous leurs perforateurs.

Ce wagon est représenté (Pl. 28, *fig.* 15 et 16) dans la position qu'il aurait dans une galerie inclinée à $0^m,50$ par mètre.

Les deux grues sont placées parallèlement sur le wagon et sont espacées de $0^m,70$ environ d'axe en axe. Chacune est formée d'une poutrelle creuse AB, assez étroite pour pouvoir se loger facilement entre les deux rangées de perforateurs d'une même poutre couchée avec ses six perforateurs sur le wagon. La poutrelle est attachée par son extrémité A au pivot E qui lui permet de tourner dans le sens horizontal et de rouler au moyen de deux galets sur la table CD. Des écrous placés sur ce pivot, en dessus et en dessous de la poutrelle fournissent le moyen de régler au besoin la position de cette dernière, de même que des vis situées sous la table CD servent à mettre cette table de niveau. Le pivot E peut tourner lui-même autour de la traverse du wagon, à laquelle il est fixé par une douille, ce qui permet d'élever ou d'abaisser la grue au moyen du double cric fixé au point K. Enfin la manivelle A, située près du pivot et qui commande une vis placée dans l'intérieur de la poutrelle, sert à faire avancer ou reculer une âme renfermée dans cette poutrelle et à allonger ou à raccourcir ainsi le bras de la grue. Cette âme roule entre les galets FGH et présente au point I un œil destiné à recevoir un goujon.

La poutre qui porte les perforateurs et qui est placée verticalement dans la galerie, présente elle-même deux oreilles au point D (*fig.* 13) qui sont destinées à recevoir le même goujon. Pour enlever la poutre on démonte d'abord les barres à mines, on la fait marcher ensuite verticalement, en la poussant par le pied avec un levier, après avoir desserré ses vérins, et on l'amène à portée de la grue ; puis on fait fonctionner la grue de manière à amener l'œil I entre les deux oreilles D, et l'on place le goujon. On renverse ensuite la poutre sur la grue, qui se trouve ainsi logée entre les perforateurs, comme un cheval entre les jambes de son cavalier. On attache enfin la poutre dans cette position.

On charge de la même manière sur l'autre grue la deuxième poutre avec ses perforateurs, puis on fait remonter le véhicule dans la galerie, et, afin qu'il n'empêche pas le passage des wagons de terrassements, on le gare sur le côté, soit à l'aide d'une voie d'évitement, soit au moyen d'un chariot fonctionnant perpendiculairement à la voie. Si la galerie est trop étroite, on ménage tous les 40 ou 50 mètres des parties assez larges pour permettre cette manœuvre.

Mode de chargement des mines. — Au tunnel du mont Cenis on procède ainsi pour charger les mines : on fait d'abord sortir l'eau et la boue des trous au moyen d'un jet d'air comprimé, puis on sèche ces trous, et on y introduit des cartouches que l'on pourvoit de mèches; enfin on bourre les unes après les autres les mines à la manière ordinaire. Toutes ces opérations exigent beaucoup de temps à cause du grand nombre de mines à charger dans un espace très-resserré.

Notre procédé est beaucoup plus expéditif. On ne fait sortir des trous ni l'eau ni la boue, et on ne les sèche pas. On y introduit immédiatement des cartouches en métal, munies de mèches en métal, comme on le pratique pour les mines sous l'eau. On pourrait peut-être remplacer le métal par une autre substance imperméable, mais nous pensons que le métal offre plus de sécurité, plus de garantie. On gâche ensuite du ciment très-hydraulique, très-énergique, du ciment prompt de Grenoble, par exemple, et on le coule dans les trous de manière à les remplir entièrement.

On charge d'abord de cette manière les deux rangées de trous *qd* et *ef* (*fig.* 14), avant même que les perforateurs ne soient enlevés, et même pendant que le forage des autres trous s'effectue; on gagne ainsi du temps et l'on permet au ciment de devenir très-dur. On a d'ailleurs soin, afin d'éviter les accidents, de tenir parfaitement bouchées les lumières des cartouches jusqu'au moment de mettre le feu.

On fait partir d'abord la rangée *qd*, ensuite la rangée *ef*. On fait sauter ainsi le triangle *bef*.

On charge alors la rangée *gf*, et pendant que le ciment durcit on enlève les déblais et l'on dégage aussi bien que possible la roche dans l'angle *bef*. On détermine ensuite l'explosion de la rangée *gf*, et l'on charge ce qui reste des trous des deux rangées *ab* et *cd;* on laisse durcir pendant que l'on enlève les déblais et que l'on dégage avec soin la roche dans l'angle *egf*, puis on met successivement le feu. On continue de la même manière et l'on fait partir l'une après l'autre les rangées *hi*, *kl* et *mn*, ce qui fait sauter les tranches de roches *gfih*, *hilk* et *klnm*. Après les explosions de chaque rangée de mines on a toujours soin d'enlever les déblais et de dégager la roche, de manière à rendre aussi efficaces que possible les explosions de la rangée suivante. On peut, d'ailleurs, afin d'obtenir plus d'effet, charger d'avance plusieurs rangées de trous, en ayant soin de tenir parfaitement bouchées les lumières des mines jusqu'au moment de mettre le feu.

Ce procédé permet de faire des mines de très-gros calibre et d'obtenir des effets que ne peuvent donner les procédés ordinaires, car le ciment prompt acquiert rapidement une dureté suffisante et adhère fortement à la roche.

Quand les mines sont de gros calibre, on peut enfoncer des éclats de pierres dans le ciment, afin d'en diminuer la consommation.

Si l'on n'avait pas de ciment sous la main, on le remplacerait par du plâtre, en ayant soin de gâcher serré.

Bouclier. — A 10 ou 15 mètres du fond de la galerie inclinée doit être placée une espèce de cage mobile en charpente, que nous désignons sous le nom de bouclier, parce qu'elle en remplit le rôle. Cette cage est maintenue immobile au moyen de vérins fortement serrés contre les parois de la galerie. Elle présente un libre passage pour les wagons et contient sur le côté une pompe à épuisements, mise en mouvement par une machine à air comprimé, qui peut aussi faire marcher, quand on le désire, un treuil placé près de la pompe et qui sert à manœuvrer les wagons, et notamment à remonter dans la galerie, à l'aide d'une poulie de renvoi, jusqu'à la gare qui doit le recevoir, le wagon-grues destiné à porter les perforateurs. La pompe communique au moyen de tuyaux flexibles, d'un côté avec le fond de la galerie, de l'autre avec l'appareil automoteur d'épuisements le plus voisin.

Cette cage est munie, en aval, d'une porte blindée que l'on ferme et derrière laquelle les ouvriers s'abritent quand les mines vont faire explosion. Elle est protégée, en amont, par une forte barrière qui ne s'ouvre que pour laisser passer les wagons, et qui s'appuie contre de forts tampons en caoutchouc. Cette barrière est destinée à arrêter les wagons qui pourraient être accidentellement abandonnés dans la galerie et à mettre ainsi à l'abri les mineurs, dans le cas où les appareils de sûreté dont ces wagons doivent être pourvus viendraient à faire défaut.

Un télégraphe électrique, communiquant avec l'atelier situé au sommet du plan incliné, peut être placé aussi dans l'intérieur du bouclier.

Lorsque, par suite de l'avancement des travaux, le bouclier est trop éloigné du fond de la galerie, on desserre les vérins qui le maintiennent et on le fait glisser lentement jusque sur le nouvel emplacement qu'il doit occuper. On allonge en outre au fur et à mesure que cela est nécessaire les tuyaux de la pompe, et la conduite d'air comprimé.

Nous terminerons ici ce Mémoire. Nous aurions cependant beaucoup à dire sur l'installation et la marche des divers ateliers de mineurs, de terrassiers, de mécaniciens, de maçons, etc.; sur les constructions qu'il sera indispensable d'effectuer à l'orifice de chaque galerie, pour loger, héberger, soigner les ouvriers et leur permettre de travailler commodément et parfaitement à l'abri, en tout temps, sans interruption, le jour

et la nuit, en été comme en hiver, malgré le froid et la neige; sur les machines destinées à remorquer les wagons dans les galeries inclinées; sur celles devant servir au déchargement de ces wagons en dehors des galeries; sur la pose des conduites à air comprimé ou de celles destinées aux eaux d'épuisements; sur la méthode à suivre pour élargir la petite galerie dans l'intérieur du tunnel et effectuer les revêtements en maçonneries, etc., etc. Mais tous ces détails seraient fort longs, et nous espérons que l'exposé qui vient d'être présenté sera suffisant pour faire parfaitement comprendre notre système de construction des grands tunnels.

Grenoble, juin 1863.

COMPTE RENDU ET OBSERVATIONS

SUR LE PROJET DE M. TONI FONTENAY

EX-INGÉNIEUR EN CHEF DU CHEMIN DE FER DU DAUPHINÉ

SUR LA

CONSTRUCTION DES GRANDS TUNNELS

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

M. Fontenay réside depuis plusieurs années au pied des Alpes : il y a exécuté un chemin de fer important [1] avec autant d'habileté que d'économie. Il est l'auteur d'un projet très-détaillé de traversée des Alpes par un chemin de fer (de Grenoble en Italie), par la vallée de la Romanche; il est, en un mot, l'un des ingénieurs les plus familiarisés avec les questions que soulève le tracé des chemins de montagnes.

Passant sa vie au milieu des populations qui attendent avec une vive impatience l'achèvement du percement du mont Cenis, ses idées se sont portées vers ce but. Il devait trouver, en effet, le terrain de cette étude facile pour lui, à cause de l'expérience toute spéciale qu'il a acquise dans le percement des tunnels, et surtout dans les dispositions de son esprit qui le porte à l'emploi ingénieux des appareils et des forces mécaniques dans l'exécution des travaux d'art.

L'étude que vous présente M. Fontenay a été longuement élaborée. Il l'a étendue à de minutieux détails, faciles d'ailleurs à saisir pour ceux qui connaissent les remarquables installations du percement du mont Cenis.

L'opportunité de la question n'est pas contestable. Le succès du procédé employé au mont Cenis est certain. Ce procédé, qui constitue une

1. Dauphiné.

des plus belles découvertes des temps modernes, n'est plus aujourd'hui un essai. C'est un art qui s'est approprié, à l'état pratique, la compression de l'air; son emploi, comme moteur, à la percussion, et une méthode également nouvelle d'ouvrir des galeries souterraines en broyant la roche la plus dure par une meilleure utilisation de la poudre.

Ces trois inventions ressortent incontestablement du travail qui s'exécute au mont Cenis. Nous décrirons nos impressions à cet égard; mais il convient d'abord de jeter un coup d'œil sur l'intérêt que présente en ce moment, pour la traversée des Alpes, tout procédé consistant à accélérer les percements souterrains, car c'est surtout en ce qui concerne ce grand problème que cet intérêt se montre aujourd'hui.

Tandis que la France et l'Italie s'unissent par Nice et par le mont Cenis [1], le désastre qui a englouti les millions de la France engagés dans les chemins suisses fait reculer toute solution reposant sur l'influence de la France et de l'Italie pour traverser le territoire de la Confédération helvétique.

Peu soucieuse de l'honneur et de l'intérêt qui obligent les gouvernements à ne pas s'enrichir des dépouilles des fondateurs des entreprises utiles, cette Confédération semble assister à la ruine successive des chemins de fer les plus essentiels à son territoire, avec la satisfaction qui s'attache à l'absorption d'une proie patiemment poursuivie et impatiemment attendue. C'est à croire que si la France et l'Italie voulaient s'entendre pour ouvrir un chemin de fer à travers les Alpes Helvétiques, la Suisse marchanderait son territoire et son consentement, sous le couvert de ses défiances politiques.

1. Nous disséminerons dans quelques notes les détails les plus intéressants sur le percement du mont Cenis :

La section transversale du tunnel est limitée par une voûte en plein cintre de 4 mètres de rayon. La largeur à la naissance est donc de 8 mètres. Les piédroits sont une portion d'arc de cercle de $10^{m},10$ de rayon; leur hauteur est de 2 mètres et leur fruit total de $0^{m},20$. Un trottoir en dalles de $0^{m},70$ de largeur règne de chaque côté de la galerie, de sorte que la largeur du tunnel à la hauteur des rails, sera la suivante :

Deux voies et entrevoie.....	$6^{m}.20$
Deux trottoirs de $0^{m},70$.....	1 .40
	$7^{m}.60$

La galerie sera revêtue sur toute sa longueur d'une maçonnerie de blocs équarris de $0^{m},80$ d'épaisseur. Dans les parties où les terrains paraissent présenter un peu moins de résistance que dans les roches dures et parfaitement saines, les piédroits sont réunis par un radier concave de $7^{m},72$ de rayon. La hauteur de la clef sur les rails sera de 6 mètres.

Un aqueduc placé dans l'entrevoie servira à l'écoulement des eaux pendant et après la construction.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées*.)

Si donc on attend une solution de l'intérêt des compagnies ou des gouvernements italiens et français, aucune n'est prochaine pour les passages suisses du Rhône et de la Reuss. L'intérêt qui s'attache à accélérer les travaux du percement du mont Cenis n'en est que plus urgent, puisque toute autre solution s'éloigne. On dit, il est vrai, que lorsqu'il sera bien démontré en Suisse que la Confédération ne peut et ne doit compter que sur elle-même, elle pourrait prendre un parti aussi subit qu'imprévu. Espérons-le.

Un autre intérêt nous fait redoûter toute communication tardive par chemin de fer entre la France et l'Italie. L'Autriche, qui a traversé au Semmering l'extrémité orientale du soulèvement des Alpes et qui est déjà en communication ferrée avec l'Adriatique, va bientôt descendre sur Vérone et l'Italie par le col du Brenner, qui ouvre les Alpes Rhétiques entre Inspruck et Botzen.

Enfin la puissante association des chemins du sud de l'Autriche et de l'Italie septentrionale appuie le projet de traversée des Alpes par le Luckmanier, de préférence à ceux du Simplon et du Saint-Gothard.

Au point de vue de l'art, les solutions sont définitives dans les deux directions par Nice et par le mont Cenis. Elles ne le sont pas moins par le Brenner et le Luckmanier. L'une est en construction, et l'autre a été projetée, sous la direction d'hommes qu'un long séjour dans les Alpes a familiarisés avec les conditions d'un bon tracé. Au Brenner, le faîte est traversé sans tunnel à 1355 mètres de hauteur; il le sera au Luckmanier par un tunnel de 1,700 mètres seulement à 1832 mètres de hauteur. Le rayon des courbes est de 300 mètres; les inclinaisons ne dépassent pas 30 millimètres. Ces chemins permettront l'emploi du matériel actuel, condition indispensable à un tracé de premier ordre, mettant en communication deux contrées d'un même État ou deux États qui s'appuient l'un sur l'autre, condition moins essentielle lorsqu'une frontière exclut le passage ou le mélange du matériel roulant de diverses entreprises.

Il est bien remarquable que des hommes rompus à l'étude de la traversée des Alpes, comme M. Michel, ingénieur des ponts et chaussées français, successivement directeur de l'Union des chemins de fer Suisses et de la Société des chemins de fer du sud de l'Autriche et du nord de l'Italie, M. Pestalozzi, ingénieur en chef, et M. Wetly, dont les noms sont associés depuis de longues années à celui de M. Michel dans les belles études des tracés en pays de montagnes, qu'enfin M. Etzel, l'auteur du tracé du Brenner, aient aperçu que le passage journalier et régulier sur les cols d'une diligence ou d'un frêle traîneau est une réponse péremptoire aux craintes de la neige, des tourmentes et des avalanches, tandis que l'ingénieur, étranger aux montagnes et chargé d'improviser un tracé, recule épouvanté devant des phénomènes légendaires dont son

enfance a été frappée et dont il ne s'est pas donné le temps de mesurer les effets [1].

Aussi le tracé par le Luckmanier ne rencontrera-t-il pas d'objections de la part des ingénieurs qui connaissent le pays, et si l'Autriche consent, comme on le dit, à l'union par le Vorarlberg de la ligne d'Augsbourg avec celle de Coire, ni l'argent, ni l'art ne feront défaut à l'exécution de la traversée des Alpes dans cette direction [2].

Pour compléter le tableau des éventualités qui sont pour la France un motif d'urgence de hâter l'exécution du percement du mont Cenis, disons un mot de ce qu'il y a lieu d'attendre des efforts qui seront tentés pour la traversée des Alpes par le Rhône et la Reuss, c'est-à-dire par le Simplon et le Saint-Gothard. Dans l'une et l'autre de ces deux directions, un tracé à courbes d'un rayon minimum de 300 mètres (le seul rayon qui comporte l'usage du matériel actuel) ne peut être exécuté qu'à la condition de percer un long tunnel sous le faîte et de nombreux tunnels aux abords.

Les exemples abondent pour démontrer l'influence que le rayon des courbes exerce sur la dépense de construction des chemins de montagne. Mais cette influence, déjà bien forte quand le tracé suit le thalweg des vallées, l'est bien davantage quand il suit les flancs des montagnes dans les hautes régions. Dans ces parties où tunnels et viaducs se succèdent, la dépense des constructions peut dépasser deux millions par

1. Pour éviter la montagne, l'ingénieur qui a tracé le chemin de fer du mont Cenis l'a percé à 1269 mètres de hauteur moyenne. Voici les données du profil :

	mètres.
La longueur entre les deux fausses têtes du tunnel du mont Cenis est de..	12,220,00
L'entrée du côté de la France est placée à la cote.....	1,202,82
Et du côté de l'Italie — à la cote.....	1,335,38
Différence.....	132,56
Cette différence est rachetée :	
Par une rampe de 0,0222 sur 6110 mètres	135,64
Suivie d'une pente de 0,0005 sur 6110 —	3,06
Différence sensiblement égale à la précédente.....	132,58

La hauteur de la plate-forme, en dessous du point culminant de la montagne, sera de 1617m,58.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

2. Nous tenons de M. Grattoni que le gouvernement italien se serait refusé à l'emploi des rebroussements ou lacets dans le tracé de Bardonnèche à Suse, et qu'il a dû étudier un autre tracé où les courbes et de plus fortes inclinaisons seraient substituées aux rebroussements. Le tracé du Luckmanier, comportant sur la descente vers l'Italie six rebroussements, soulèvera peut-être les mêmes objections ; il semble bien difficile cependant d'exclure ce moyen, qui a été employé depuis plusieurs années sans que des inconvénients imprévus aient été signalés.

kilomètre : le Semmering en est l'exemple; et cependant le rayon des courbes y a été très-aventureusement et très-malheureusement abaissé à 190 mètres. Un tunnel de faible longueur coûte en pareil cas mille à douze cents francs par mètre courant; mais le viaduc qui le suit coûte quatre ou cinq fois plus. Dans ces circonstances, les longs tunnels ont l'avantage d'abréger le tracé et d'éviter de grands travaux. Ils abaissent aussi le niveau de la région d'exploitation, de telle sorte qu'on peut admettre, pour le Simplon comme pour le Saint-Gothard, une solution qui consisterait en un long tunnel abordé par un tracé à courbes de 300 mètres, avec des inclinaisons réduites, et qui pourrait être franchi sans difficulté par le matériel actuel. L'art n'aurait rien à objecter à cette solution.

Mais elle est dispendieuse, et les ingénieurs qui, pour réduire la dépense d'établissement, tenteraient de réduire dans la traversée des Alpes le rayon des courbes jusqu'à 200 mètres, s'exposeraient aux mêmes conséquences que celles qui se sont produites dans l'exploitation du Semmering.

Ce n'est pas en gravissant les rampes que les inconvénients des courbes se manifestent le plus : c'est à la descente, quand la vitesse dépasse 25 à 30 kilomètres. Alors les wagons, serrés les uns contre les autres par l'effet de la gravité, donnent au train entier une extrême rigidité, la voie, quelque solidement constituée qu'elle soit, souffre et se déplace. Cela dénote une forte tendance au déraillement, et cependant la plupart des wagons sont du système américain.

Aussi le rayon minimum de 300 mètres est-il exigé et adopté partout où l'usage actuel est une condition essentielle. Il n'y a plus qu'à choisir entre ce rayon et celui que permet l'usage d'un matériel spécial articulé. Dans l'un comme dans l'autre système, les forces centrifuges sont les mêmes, à vitesse et rayons égaux. Mais ils se compliquent dans le premier, de la position anormale des essieux; de là, la tendance au déraillement qui se manifeste au Semmering et qui n'existe pas sur le chemin de fer de Sceaux.

Le retour au rayon de 200 mètres serait, après l'échec du Semmering, une aventure, en ce sens qu'on pourrait se trouver devant la nécessité probable de renoncer à l'emploi du matériel actuel, après avoir fait un énorme sacrifice d'argent pour cet emploi, et de lui substituer le matériel américain ou articulé dont l'usage eût pu permettre une dépense deux ou trois fois moindre pour l'établissement du chemin.

Aussi est-il encore permis de dire que, pour le Simplon comme pour le Saint-Gothard, le choix entre l'usage du matériel actuel exigeant des courbes de 300 mètres, et l'usage du matériel articulé permettant d'abaisser le rayon jusqu'à 100 mètres et moins, n'est pas encore fait, et un tracé reste à étudier dans les deux hypothèses. Si le choix était fait en

faveur de la dernière solution, ces deux traversées pourraient encore être établies avant l'achèvement du percement du mont Cenis.

Ainsi, tout considéré, il faut presser l'exécution du percement du mont Cenis.

Examinons maintenant les moyens d'exécution.

Nous avons dit que les procédés employés par M. Sommeiller, pour perforer la galerie qui devance l'établissement du tunnel, constituent un art; nous aurions pu ajouter que cet art est destiné à se répandre dans l'industrie en général, et à y apporter une multitude de moyens nouveaux pour l'emploi de l'air comprimé comme force motrice susceptible d'une grande division, et pour broyer et façonner la matière.

Il serait trop long de reproduire ici les descriptions des appareils qui ont été présentés à notre société. Nous renvoyons au rapport de M. Noblemaire, ingénieur des mines, adjoint à la direction du chemin de fer du nord de l'Espagne; au Mémoire de M. Baude, inspecteur général des ponts et chaussées, présenté à la Société d'encouragement, sur la traversée des Alpes. Nous signalerons, en outre, particulièrement à l'attention l'intéressant Mémoire de M. Conte, ingénieur en chef des ponts et chaussées, inséré dans le numéro de janvier et février des *Annales;* rien de plus détaillé et de plus concluant n'avait été publié jusqu'à ce jour.

Les détails contenus dans ces divers mémoires, joints à ceux que M. Tony Fontenay a extraits du rapport de M. le ministre des travaux publics du gouvernement italien, sont l'exposé historique complet des diverses phases et de l'état actuel de cette grande entreprise[1].

Nous nous permettrons d'y joindre les impressions que la visite des chantiers de Modane et de Bardonnèche nous a laissées.

L'aération du tunnel pendant les travaux n'est plus une difficulté, en ce sens que le problème de l'application de la force mécanique à la compression de l'air est résolu très-heureusement par l'appareil dit compresseur à pompe. C'est l'ingénieuse application du principe qu'un homme d'un vrai génie, M. Bourdon, du Creusot, a fait aux pompes à air des condenseurs des grandes machines de navigation fluviale. Dans ces pompes, le piston et les clapets fonctionnent entre deux eaux, de telle sorte que les chocs sont amortis et que le piston et les clapets sont complétement étanches. Le compresseur à pompe de M. Sommeiller fonctionne admirablement. Il lui fait d'autant plus d'honneur qu'il ne connaissait pas l'application du procédé dont il s'est servi, aux pompes à air de M. Bourdon. L'appareil a, dans la circonstance, ce mérite particulier, que la quantité d'air à comprimer ne dépend plus, comme dans le com-

1. Ceci était écrit avant que la relation des travaux et la description des appareils ait été publiés par M. Sommeiller lui-même. Cet exposé, à la fois simple, précis et détaillé, est pour l'ingénieur un livre classique.

presseur à choc, de la quantité d'eau débitée par le cours d'eau, mais de la puissance mécanique de cette eau. Or, comme il est facile de la dériver de telle hauteur qu'il conviendra, et d'appliquer des turbines aux conduits de dérivation, on pourra ainsi se procurer telle quantité de force mécanique, et par conséquent telle quantité d'air qu'il sera nécessaire d'introduire dans le tunnel [1].

La conduite de l'air est parfaitement étanche, et la réduction de pression est si faible à son extrémité, que, dussent les quantités d'air introduites être doublées et triplées, la conservation de la pression à grande distance serait dans tous les cas assurée par une augmentation de diamètre ou par l'addition d'une seconde conduite [2]. Enfin les moyens d'appel des gaz provenant des explosions, par des ventilateurs placés entre l'orifice de la galerie et le chantier de maçonnerie, pour préserver les ouvriers qui construisent le revêtemens du tunnel, est d'autant plus facile que ces appareils peuvent être mis en mouvement par des machines à air comprimé semblables à celles construites par M. Sommeiller pour le petit atelier de Bardonnèche et pour la manœuvre des cames des appareils compresseurs à choc.

Quant à la perforation de la galerie, il ne reste pas le moindre doute que le travail peut en être accéléré. Le perforateur est un instrument qui fait un excellent usage de l'air comprimé, comme moteur propre à la percussion. Tel qu'il existe aujourd'hui, son emploi assure dans douze années, suivant M. Conte, le terme d'exécution des travaux; mais il est rendu évident, par le succès même de cet instrument, que ce délai peut être singulièrement abrégé, parce que le perforateur est susceptible de creuser dans le même temps et avec la même facilité des trous plus profonds et plus grands. C'est là ce qui nous a particulièrement frappé.

Le système actuel du percement de la galerie mérite en effet d'être expliqué. Sa dimension présente une section de 11 à 12 mètres (4 mètres sur 3 mètres). Dans les cas ordinaires, l'exploitation consisterait à per-

1. On a calculé que la consommation de chaque attaque du tunnel serait de 82,000 mètres cubes d'air par jour. Or il existe, ou il existera de chaque côté des Alpes dix compresseurs à chocs, et six compresseurs à pompe, pouvant fournir toutes les 24 heures :

	mètres cubes.
Les 10 compresseurs à choc.....	70,000
Les 6 compresseurs à pompe.....	42,000
En tout.....	112,000

Soit 37 p. 100 en sus des besoins présumés.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

2. En l'état actuel, les conduites, fermées et mises en pression pendant 12 heures ne perdent pas au delà de 0,2 d'atmosphère; et pendant l'écoulement de l'air, la perte de charge entre l'origine et la fin de la conduite atteint à peine 0,1 d'atmosphère.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

forer des trous de mine sur cette section, et à obtenir ainsi le départ de la roche par fragments. Mais ici la rapidité et la facilité de la perforation a conduit l'ingénieur à un système différent, nouveau, et qui lui est propre. Il pratique, à l'aide d'une rangée horizontale de trous de 9 centimètres de diamètre, un vide dans le sens de la section de la galerie, de telle sorte qu'il offre à la roche un départ par deux plans de direction, à savoir le plan de la section de la galerie et le plan perpendiculaire à cette section, passant par les trous de 9 centimètres. Ces deux plans étant à 45 degrés, offrent à la poudre une grande facilité pour le départ de la roche. Les premières explosions creusent ainsi dans la section une cavité égale à la profondeur des trous de mines, et les explosions suivantes fonctionnent dans des conditions à peu près semblables [1].

Il est facile de conclure de cet exposé que si les perforateurs pouvaient agir de manière à pratiquer autour de la galerie et à son centre une ligne de trous profonds de $1^m,80$ à 2 mètres et de 9 à 10 centimètres de diamètre, les effets obtenus aujourd'hui croîtraient dans une énorme pro-

1. L'affût est destiné à percer la petite galerie de l'avancement, qui a 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur. L'élargissement se fait ensuite par les moyens ordinaires en multipliant les points d'attaque.

L'affût étant garni de ses huit machines, et prêt à fonctionner, on l'amène en face du point d'attaque.

Deux machines placées auprès du centre percent sur une ligne horizontale, des trous de $0^m,09$ et entre chacun d'eux des trous de $0^m,04$ en tout une douzaine de trous.

On dispose ensuite une seconde ligne de trous, une dizaine environ, sur une ligne parallèle à la première, et enfin on perce une soixantaine de trous disposés sur la surface entière de l'attaque; on tout quatre-vingts trous sur la superficie de 12 mètres carrés.

Ce travail se fait sans autre interruption que le changement des outils et dure plus ou moins, suivant la résistance de la roche, mais se fait ordinairement en moins de six heures. Au bout de six heures donc, la galerie se trouve criblée de trous de $0^m,90$ de profondeur, au nombre de quatre-vingts environ sur lesquels six trous de $0^m,09$ de diamètre.

Cette période de travail terminée, l'affût est retiré en arrière de deux portières en chêne qui le mettent à l'abri des éclats de mine, et l'on commence à faire les explosions.

On nettoie les trous au moyen d'un jet d'air comprimé qui les sèche très-rapidement, et on les charge avec des cartouches toutes préparées.

L'explosion se fait successivement, on charge les mines du centre, comme on a eu le soin de laisser vides les trous de $0^m,09$, les coups de mines, rencontrant latéralement une ligne de moindre résistance, produisent leur effet dans ce sens, au lieu de partir comme des coups de canon. La roche sur la partie centrale de l'attaque, est broyée après cette première explosion et laisse un vide de $0^m,80$ à $0^m,90$ de profondeur, $1^m,30$ de largeur et $0^m,40$ de hauteur environ.

Le vide ainsi formé donne toute facilité pour le tirage des autres mines qu'on fait partir successivement huit par huit.

A la suite de l'explosion, en petite galerie, les débris sont généralement peu volumineux et faciles à charger.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

portion et sans accroissement sensible de la quantité de poudre brûlée, puisque l'attaque actuelle n'intéresse que $0^m,80$ de profondeur, et que la résistance de la roche est ici d'autant plus grande que le trou de mine est moins profond.

Qu'on se figure un instant un affût du poids de 15 à 20 tonnes, faisant tête à la galerie et portant des perforateurs dont les fleurets seraient guidés mécaniquement près de l'orifice; supposons encore que ces fleurets ne puissent s'engager, ce qui est une amélioration déjà prévue par l'inventeur, n'est-il pas évident que la même quantité de poudre produirait sur un cube de 2 mètres de profondeur, complétement dégagé sur tout son pourtour et par son centre, un effet triple de celui qui est produit sur un cube de $0^m,80$ de profondeur dégagé seulement par le centre.

Le perforateur actuel est une des armes les plus ingénieuses et les plus savantes qui aient été employées pour broyer les roches dures, — mais aussi c'est une arme qui, à cause des grands effets qu'elle obtient, éprouve la plus grande fatigue. Elle devrait être construite avec les matériaux les plus durs, l'acier le plus tenace, le plus élastique et le plus accessible à la trempe. Ce qui frappe aujourd'hui, c'est la faiblesse, la dislocation, la destruction rapide de l'outil.

Quant au travail même, lorsqu'on suit avec attention l'installation d'un perforateur, on voit que pour chaque trou de mine il y a une crise à passer, c'est celle du commencement du travail, où le fleuret exige d'être conduit par l'ouvrier faute de guide, tant ses oscillations sont intenses. Cette petite crise qui, pour un seul outil, absorbe l'attention et les soins de l'ouvrier, ne serait pas plus longue pour un trou de 2 mètres de profondeur que pour $0^m,80$, puisqu'elle se termine aussitôt que le trou a acquis quelques centimètres de profondeur; mais elle n'existerait même pas, car un affût très-stable permettrait de guider mécaniquement le fleuret.

Il est évident que la durée du travail de perforation n'est nullement en raison de la profondeur des trous. Aussi, en voyant l'énorme produit qu'on obtient en si peu d'instants de ce petit instrument, on se demande pourquoi ce système, si riche d'invention, si rationnel, arrivé à une telle perfection de travail, reste pour ainsi dire à l'état d'échantillon, de petit modèle.

Cette impression n'a pas été seulement la nôtre; nous l'avons trouvée, à notre vive satisfaction, conçue et déjà organisée dans la pensée de l'inventeur. Tout est prêt en lui pour cette transformation, qui pourrait tripler facilement la rapidité du travail. Mais, hélas! l'argent manque, le budget italien est affaibli par l'immensité des besoins de la jeune organisation du pays, et si on osait proposer une rénovation du matériel, les esprits timides, qui sont à peine revenus de la frayeur que leur a fait éprouver l'appui déjà peu convaincu qu'ils ont donné à cette merveilleuse application, croiraient tout perdu. A M. de Cavour, et à lui seul, appar-

tient l'honneur d'avoir compris l'homme de génie qui lui apportait son invention. Autant il avait mis de soin et de zèle à étudier ses moyens, autant il lui a donné plus tard de preuves de confiance, d'appui et de moyens de succès.

Aussi se prend-on à désirer que la France, riche et enthousiaste, que notre administration des ponts et chaussées, à laquelle on ne peut refuser une vive ardeur pour les grandes entreprises où les questions scientifiques sont engagées, prennent en main la conduite de l'œuvre qui ne rencontre plus de l'autre côté des Alpes l'énergie et le concours qu'elle mérite. Que la France accepte à son tour l'inventeur et l'invention, et lui donne l'abondance des ressources qu'il faut toujours aux idées neuves et grandes. Le voilà aujourd'hui obligé de n'attendre de perfectionnement que de l'expérience et de l'habileté de ses ouvriers, tandis que sa tête est remplie de moyens mécaniques propres à compléter son mécanisme, à simplifier le travail des ouvriers et à en réduire le nombre [1]. Un autre motif bien puissant autorise l'intervention de la plus riche des deux nations dans cette entreprise. Le passage à travers le mont Cenis est l'instrument de force qui assure l'alliance et la puissance réciproques de la France et de l'Italie, parce qu'il en est le trait d'union. Il pourra permettre sans transbordement le passage en quelques jours d'une armée protectrice de celui des deux territoires qui sera menacé. N'oublions pas que dans la journée seule du 25 avril 1859, le chemin de fer de Lyon amenait à la frontière 12,000 soldats et 650 chevaux. Il en a passé 229,000 et 36,000 chevaux dans moins de trois mois. Mais, si le mont Cenis avait été percé, le théâtre de la guerre eût été avancé du côté de la Vénétie, de toute la distance gagnée par l'armée en rapidité du passage. A d'autres d'apprécier les conséquences.....

C'est donc un motif patriotique, autant qu'un motif de justice, de réparation même, qui amènerait la France à prendre la haute direction des travaux qui s'exécutent sur son sol à elle. Telles sont les impressions que nous avions rapportées de notre visite du mont Cenis, quand M. Fontenay nous a fait connaître sa nouvelle étude. Comme nous, cet ingénieur a fait la mesure du résultat acquis. Il a conçu une grande confiance dans son succès, il le croit susceptible des plus larges développements; il s'associe à l'œuvre, et il apporte une double combinaison, consistant : 1° dans l'établissement de galeries inclinées, dirigées vers l'axe du tunnel et à l'aide desquelles il ouvrirait sur cet axe de nouveaux

1. Or il faut 15 ouvriers mécaniciens pour mener les perforatrices pendant le percement des trous. On fait en ce moment deux opérations par jour à Bardonnèche; il faut donc 30 ouvriers mécaniciens pour l'attaque italienne seulement. Lorsque les machines fonctionneront du côté de la France, il en faudra le double, soit environ 70, en comptant quelques ouvriers supplémentaires.

(Conte, ingénieur en chef; *Annales des ponts et chaussées.*)

chantiers; 2° dans l'application au percement des galeries du système Sommeiller, rendu plus énergique par l'emploi d'outils, suivant lui, plus puissants.

Dans le système de M. Fontenay, le percement du mont Cenis serait achevé dans le délai de six ans et demi, en supposant un avancement de 400 mètres par an et par front de galerie. Il serait moitié moindre si, comme le propose M. Fontenay, on modifiait les perforateurs actuels [1].

Il recherche les conséquences de l'application de son système aux divers projets de traversée des Alpes. Les passages du mont Cenis, du Lautaret, du Splugen, du Bernardin, du Luckmanier (Cristalline), du Saint-Gothard, du Grimsel, de l'Albrun et du Simplon, et il arrive aux résultats suivants :

PASSAGES.	LONGUEUR des SOUTERRAINS.	TEMPS nécessaire AU PERCEMENT.
Mont Cenis (*restant à faire*)	10.200 mètres.	6 ans 6 mois.
Lautaret	6.473 —	3 ans 8 mois.
Splugen	12.000 —	5 ans 5 mois.
Bernardin	10.100 —	4 ans 6 mois.
Luckmanier	9.500 —	4 ans 9 mois.
Saint-Gothard	10.000 —	5 ans 2 mois.
Grimsel	9.750 —	4 ans 9 mois.
Albrun	8.900 —	6 ans.
Simplon	9.000 —	5 ans.

1. Du côté de Bardonnèche chaque explosion amenait un avancement de 0m,80 à 0m,90; on employait six heures au forage des trous de mines et quatre heures à l'explosion et à l'enlèvement des déblais; en tout dix heures pour l'opération entière. Dans la visite qu'elle a faite sur les travaux, au mois d'août dernier, la commission internationale a été témoin d'une explosion centrale qui s'est présentée dans les conditions ci-dessus énoncées. L'avancement devrait donc être de 1m.70 par jour, soit à peu près 52 mètres par mois; mais il résulte des renseignements qui nous ont été donnés, que jusqu'à ce jour il n'était guère que de 35 mètres. Il faudrait donc encore 12 ans pour achever les 10,200 mètres restant à creuser. En supposant qu'on travaillât au moyen des machines sur les deux attaques et qu'on restât stationnaire dans les résultats obtenus.

On comprend très-bien qu'avec un personnel exercé et une somme à valoir de quatre heures qui reste chaque jour, pour parer aux accidents imprévus, on puisse arriver à régulariser les deux opérations qu'on fait aujourd'hui, de manière à se rapprocher d'un avancement mensuel de 50 mètres sur chaque attaque; dans ce cas, la durée du travail restant à faire pourrait être réduite à huit ans et demi.

Depuis le mois d'août 1862, les machines perforatrices ont été installées sur l'attaque française. Elles ont commencé à fonctionner le 25 janvier 1863. Après un peu de désordre, elles ont marché avec la plus grande régularité, la moyenne de l'avancement du mois de mars, a été de 1m,10 par jour, et celle des huit premiers jours du mois d'avril est de 1m.40. Je considère ce dernier fait comme exceptionnel; mais il prouve, dans tous les cas, que les difficultés d'exécution sont loin d'augmenter.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

Comme on peut en juger par les chiffres qui précèdent, la durée des travaux de percement est bien plutôt fonction du profil des faîtes à traverser que de la longueur. C'est, en effet, là le point principal par lequel se recommande l'idée de M. Fontenay, idée ingénieuse, rationnelle et pratique. Au lieu de tracer les souterrains en ligne droite, il les dessine suivant la direction du thalweg du col à traverser, de façon à trouver les lignes de moindre distance pour les puits ou les galeries inclinées destinées à rejoindre l'axe du tunnel pour y établir des chantiers de percement.

Cela seul suffirait pour recommander l'étude de M. Fontenay. Dans beaucoup d'occasions difficiles, l'ingénieur fera son profit de cette heureuse pensée.

La préférence que donne M. Fontenay aux galeries inclinées sur les puits s'explique par plusieurs considérations. Cela permet de placer les ateliers de machine à l'orifice des galeries, dans une région plus basse de la montagne.

Le relèvement du profil des cols devenant plus abrupte à mesure que l'on approche du faîte, on peut atteindre l'axe du tunnel par des galeries relativement peu étendues.

En suivant les thalwegs, on peut recueillir à l'orifice des galeries ou des puits, des forces hydrauliques qui dispensent de moteurs dispendieux.

Un autre motif est de s'aider, dans le percement des galeries, de l'inclinaison des formations géologiques suivant l'angle de leur relèvement. Cette disposition est particulièrement opportune dans les Alpes où le métamorphisme n'a pas complétement ôté à l'état fragmentaire des roches les plans de clivage résultant de l'origine sédimentaire des formations relevées [1].

1. *Coupe géologique du mont Cenis.*

Le terrain à anthracite, à l'entrée du côté de Fourneaux présentera une longueur à traverser de 1500 à 2000 mètres.

Le terrain des quartzites, qui lui fait suite, sera traversé sur une longueur de 400 à 600 mètres.

Le terrain des calcaires massifs, sur une longueur de 2000 à 3000 mètres.

Enfin le terrain des calschistes, qui forme la base du système et constitue tout le versant italien de la montagne à perforer, sera traversé sur une longueur de 7000 à 8000 mètres.

En résumé :

Terrain à anthracite à peu près.....	0,145	de la longueur	totale.
Terrain des quartzites.....	0,041	—	—
Terrain des calcaires massifs.....	0,204	—	—
Terrain des calschistes.....	0,612	—	—

La nature des roches que doit traverser le tunnel a été déterminée par MM. Élie de Beaumont, Sismonda et Lachat.

(Conte, ingénieur en chef, *Annales des ponts et chaussées.*)

A l'aide de ces deux dispositions, il devient facile de se rendre compte des avantages du système proposé par M. Fontenay.

En même temps qu'un tunnel de grande longueur est entrepris par ses deux extrémités, le relief du faîte qu'il traverse permettra d'atteindre un point situé près du milieu de l'axe, par des galeries inclinées dont la longueur sera deux ou trois fois moindre (mont Cenis) que la ligne allant de la tête du tunnel à ce point. Le milieu sera donc atteint deux ou trois fois plus tôt; un double chantier de percement pourra être installé dans le tunnel, qui sera ainsi attaqué par quatre points au lieu de deux. Ce qui est vrai pour ce point le sera pour les points intermédiaires, et dans un rapport d'autant plus favorable comme longueur de galerie et comme temps, que le relief du col présentera des infléchissements plus profonds.

Cela paraît si simple, que l'on ne peut que s'étonner qu'il ait été fait, pour la traversée des Alpes, des projets de tracé de tunnels où les relations de l'axe avec la surface du sol aient été complétement oubliées.

Le tracé du mont Cenis est dans ce cas; cependant il est encore de ceux qui peuvent recevoir un secours très-efficace de l'application des idées de M. Fontenay.

L'une des conséquences du procédé de M. Fontenay serait encore de faire disparaître toute inquiétude sur l'aérage du tunnel pendant l'exploitation. Les galeries formant des cheminées nombreuses assainiraient parfaitement le tunnel, en y créant des courants d'air variables avec la température de l'air sur les versants.

Cette première partie du travail de M. Fontenay ne nous semble donc pas devoir soulever de critique.

En est-il de même de la seconde, celle des moyens mécaniques d'épuisement et de perforation? C'est ce qui nous reste à examiner.

L'emploi de l'air comprimé à l'élévation de l'eau pour l'épuisement des galeries est aussi admissible que celui de l'eau, mise en mouvement par une différence de niveau, l'est pour la compression de l'air.

Mais, dans les deux cas, c'est le choix de l'appareil mécanique qui importe. Lorsque les dispositions d'un appareil nouveau sont simples et faciles à saisir, on peut risquer une approbation plus ou moins réservée, et c'est à quoi nous serions disposé dans le cas actuel, bien qu'en fait de machines il soit très-scabreux de juger sur autre chose que sur le travail de la machine elle-même.

Un réservoir d'eau supérieur en remplit un inférieur; puis l'air comprimé s'introduit dans ce dernier et en chasse l'eau. L'air s'échappe ensuite et l'opération recommence. Un flotteur à toc dessert la distribution, c'est-à-dire l'introduction de l'air comprimé et son échappement, et un double jeu de clapets, fonctionnant entre deux eaux, répond au mouvement alternatif d'entrée et de refoulement de l'eau. Jusque-là rien qui ne semble facile et susceptible d'un mouvement régulier. Le

doute peut cependant s'élever sur quelques points. 1° Le flotteur, qui opère la distribution de l'air comprimé, doit être obturateur dans le réservoir inférieur, pour que cet air ne passe pas directement dans la conduite avec l'eau qu'il chasserait, laissant le flotteur en suspens. C'est là une condition difficile à remplir pour le jeu même du flotteur. 2° Cette objection s'étend à la distribution elle-même de l'air comprimé. Ce n'est pas sans raison que les ingénieurs repoussent autant qu'ils le peuvent les distributions directes à choc, et les font manœuvrer indirectement, soit par un excentrique mû lui-même par un mouvement rotatif, soit par une cataracte, soit enfin par un levier mis en mouvement par la force vive acquise par un balancier (machines de Cornouailles).

M. Sommeiller s'est parfaitement rendu compte des avantages d'un intermédiaire régulier pour la distribution dans le compresseur à choc, et il l'opère au moyen d'une machine aréomobile faisant mouvoir les cames d'admission et de départ de l'eau motrice. Dans son perforateur, la distribution est également manœuvrée par une machine spéciale aréomobile. Nous croyons qu'il y a lieu de maintenir cette disposition, et que la manœuvre de l'appareil d'épuisement de M. Fontenay gagnera à une distribution manœuvrée soit par une machine aéromobile, soit par une cataracte, soit par une petite turbine à eau perdue faisant mouvoir les soupapes d'admission et d'échappement de l'air comprimé.

Quant aux perforateurs de M. Fontenay, tout en reconnaissant qu'ils contiennent une disposition nouvelle en vue d'une simplification, nous ne serions pas porté à en admettre l'efficacité. L'une des combinaisons les plus ingénieuses du perforateur Sommeiller est la petite machine à air comprimé faisant le service de la distribution du perforateur, de sa rotation, et servant aussi à le ramener à sa position première. Dans cette disposition, la manœuvre du cliquet, qui imprime le mouvement de rotation, est beaucoup moins brusque et son travail est plus sûr que dans le perforateur de M. Fontenay, dans lequel le cliquet est manœuvré directement par la tige du tiroir de distribution.

Une autre critique que nous ferons au perforateur de M. Fontenay est dans le mode de support qu'il adopte. Lorsque l'on est témoin des vibrations considérables que reçoit l'affût actuel des perforateurs par suite de la réaction des chocs des fleurets contre la roche, on n'est pas disposé à admettre que le simple serrage du support à ses deux extrémités par quatre verrins puisse résister à ces réactions; c'est là le défaut principal de l'instrument que M. Le Chatelier a essayé pour le percement des trous de mine, qui est une simple tarière attachée à un support et manœuvrée à la main.

L'expérience du mont Cenis enseigne que, pour que l'exploitation de la roche en galerie soit prompte et régulière et pour obtenir le plus grand effet avec la moindre quantité de poudre, il faut donner au tra-

vail de la poudre deux plans de départ de la roche à détacher. L'un est naturellement la face de la galerie, l'autre est un plan perpendiculaire à celui-ci et composé par une ligne de trous rapprochés et d'un fort diamètre. C'est sur l'espace vide ainsi formé que s'opère la réaction de la poudre.

Pour opérer des trous d'un grand diamètre ayant une profondeur de 1m,80 à 2 mètres, il faut que le perforateur soit attaché d'une manière immuable à un affût également immuable. Le poids de l'affût est donc une condition essentielle.

A part ces légères critiques, qui n'ôtent rien au mérite du système de M. Fontenay pour l'accélération des grands percements, nous n'hésitons pas à le recommander à l'attention. Il est né dans des circonstances qui lui donnent une telle opportunité d'intérêt public que, pour cela seul, les sympathies générales devraient lui être acquises. A plus forte raison les ingénieurs le verront-ils avec faveur s'ils y reconnaissent, comme nous, des dispositions propres dans tous les cas à accélérer la construction des tunnels de grande longueur.

NOTE

SUR UN NIVEAU D'EAU

APPLICABLE AUX LOCOMOTIVES DE FORTES RAMPES,

PAR M. ALFRED NOZO.

Tout le monde connaît l'importance qu'on attache à la connaissance exacte du niveau de l'eau dans les chaudières de locomotives.

Les moyens employés jusqu'aujourd'hui ont été les tubes communicants en verre ou cristal et les robinets jauges, appliqués simultanément.

Souvent les robinets et le tube sont montés sur un même cylindre métallique en communication avec la chaudière. Les robinets sont alors directement adaptés au cylindre; le tube en cristal est monté dans des appendices reliés au tube par l'intermédiaire de robinets d'isolement.

On donne assez généralement à l'appareil ainsi composé le nom de *clarinette*.

Les clarinettes, ou bien les tubes en cristal avec robinets séparés, sont habituellement placése sur la boîte à feu; le plus souvent sur la face d'arrière; quelquefois sur la face latérale, du côté du mécanicien.

Tant que la locomotive se meut sur une voie horizontale, les indications du tube représentent nettement les relations entre la nappe supérieure de l'eau et les parois métalliques que cette nappe doit toujours baigner. Mais lorsque les voies de fer s'inclinent par rapport à l'horizontale (tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre), le *ménisque* se déplace brusquement dans le tube, et les relations du niveau apparent avec les parois chauffées deviennent d'une appréciation impossible si l'on ne connaît pas la pente sur laquelle on chemine. Les indications ne peuvent alors donner au mécanicien qu'une fausse sécurité. Il arrive en effet qu'un même niveau d'eau dans la chaudière (convenable pour une voie horizontale) laisse le foyer à découvert lorsqu'on descend ou dégage les tubes lorsqu'on monte, tout en élevant souvent, dans ce dernier cas, beaucoup trop la nappe d'eau vers la prise de vapeur, quand elle est placée à l'arrière.

S'il n'est question que de franchir une seule pente ou rampe continue, dont la topographie soit bien connue du mécanicien, les dispositions actuellement employées peuvent donner encore toute sécurité Mais s'il

s'agit de l'exploitation d'un chemin où les pentes ou rampes se succèdent à chaque instant, comme cela se présentera dans les nouveaux réseaux, il faut recourir à d'autres moyens.

Lorsque M. Petiet me chargea de l'étude des locomotives dites à fortes rampes, d'après le programme si nouveau et si intéressant que l'on connaît, je crus utile pour l'avenir, sinon indispensable encore pour le présent, de rechercher un indicateur de niveau qui pût convenir aux nouvelles conditions dans lesquelles pouvaient être appelées à fonctionner les machines nouvelles.

Les différentes positions relatives que peut prendre la nappe d'eau moyenne, selon qu'on passe d'une pente de cinq centimètres à une rampe de cinq, par exemple, se coupent, dans les locomotives en question, à peu près sur une ligne perpendiculaire à l'axe longitudinal de la chaudière, située de 10 à 15 centimètres en avant de la boîte à feu.

Tout d'abord on songea à reporter le tube indicateur ou la clarinette sur cette ligne, en montant le système sur un support spécial fixé au flanc même du corps tubulaire. Mais comme il fallait passablement écarter le tube en cristal pour le rendre visible au mécanicien, de sa place habituelle, on vit bientôt naître cette objection : que dans le franchissement des courbes le déplacement du ménisque dans le tube deviendrait une nouvelle cause d'erreur, d'autant plus importante que le rail extérieur de la courbe serait surélevé davantage.

Pour résoudre cette nouvelle difficulté, on eut la pensée d'adapter deux appareils identiques placés des deux côtés du corps cylindrique; mais il a paru difficile d'apprécier le niveau moyen à la lecture d'indications placées à une si grande distance l'une de l'autre.

Alors surgit l'idée d'employer un flotteur placé sur la chaudière, au-dessus de la ligne d'intersection des plans d'eau apparents, en reportant les indications dans un tube en cristal, fermé à sa partie supérieure. Mais cette disposition a paru d'un service mal assuré, et surtout d'une installation difficile.

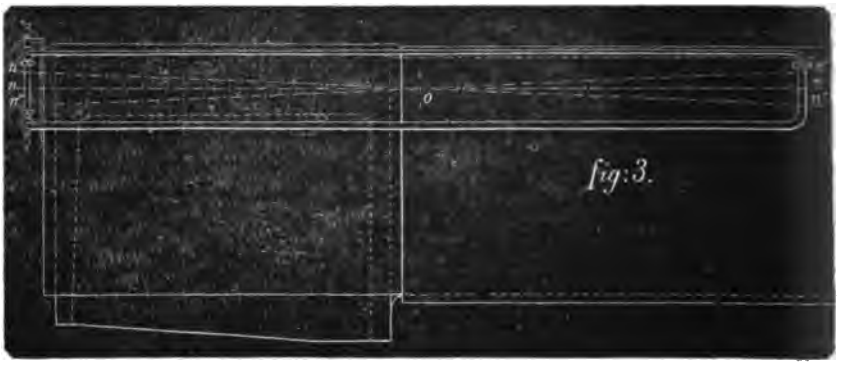
C'est alors qu'on a cherché s'il n'était pas possible de combiner avec les indications du tube en cristal, celles que pourrait donner un *niveau géodésique*, fixé à la chaudière, fonctionnant comme aiguille mobile, et donnant par le déplacement de son ménisque la trace du niveau apparent de la nappe d'eau moyenne, sous l'influence des diverses inclinaisons de la voie.

M. Geoffroy, chef du bureau des études, a proposé, comme solution la plus complète de la question, la disposition que représente le croquis ci-contre et consistant :

1° A conserver (*fig.* 1) l'ancien tube en cristal suffisamment allongé pour indiquer tous les niveaux apparents, entre t' et t'', de l'eau dans le générateur, et cela dans toutes les conditions d'alimentation et d'inclinaison des voies.

2° A placer sur le flanc de la chaudière, sans communication avec l'intérieur, un niveau de géomètre (rempli d'un mélange incongelable d'eau

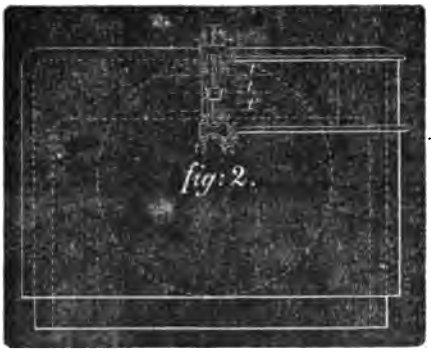
et d'alcool), (*fig.* 3) de telle manière que sur une voie horizontale le ménisque de l'instrument coïncide avec celui du tube marquant le niveau moyen *t* de l'eau, tout en donnant à l'instrument géodésique une longueur telle que son milieu soit sur la ligne d'intersection *o* des plans d'eau apparents.



3° A ramener l'une des *bouteilles* de cet instrument (*fig.* 2) près du tube indicateur, et à fermer complétement l'appareil au moyen d'un tuyau réunissant les deux extrémités, afin d'éviter toute évaporation. Un petit entonnoir à robinet peut en tout cas servir à régler de nouveau l'appareil, si l'évaporation s'est produite par une cause quelconque.

4° A disposer entre le tube en cristal *a* et la bouteille du niveau *b*, mais sans que cela soit indispensable (*fig.* 1), une vis *c* à filets très-allongés,

faisant mouvoir à volonté une aiguille à trois pointes. L'écartement des deux pointes qui courent le long du tube en cristal représente les traces



des niveaux maximum et minimum que peut prendre l'eau dans le générateur, dans toutes les situations possibles de la machine sur les voies de fer. Par conséquent, lorsqu'on manœuvrera la vis pour mettre l'aiguille simple en coïncidence avec le ménisque du niveau géodésique, le ménisque du tube en cristal devra toujours être compris entre les deux pointes glissant le long du tube en cristal.

5° A installer subsidiairement une échelle graduée *d* sur laquelle le ménisque du niveau géodésique indiquera les déviations de la machine sur l'horizontale, autrement dit les pentes du chemin sur lequel on chemine.

Dans ces conditions, le mécanicien n'a qu'à jeter un coup d'œil sur le nouvel appareil (*fig.* 1) pour voir si le ménisque du tube en cristal ne s'écarte pas de celui de l'instrument (soit en dessous, soit en dessus) de plus de la demi-distance des deux pointes. En manœuvrant l'aiguille, s'il le juge nécessaire, jusqu'à ramener sa pointe unique sur le ménisque du niveau géodésique, les deux pointes lui retraceront matériellement les deux limites de l'alimentation.

Il est bien entendu que les formes du niveau géodésique peuvent être très-variées. Il n'y a pas d'autres précautions à prendre que celles qu'observent les opticiens. Au besoin, la branche inférieure de l'appareil peut servir de main courante; la partie supérieure peut être composée d'un tuyau de très-petite section.

Nous terminerons cette communication en rappelant que dans la construction des locomotives appelées à faire le service sur les fortes rampes, il est bon, pour conserver au champ d'alimentation la plus grande étendue possible, de disposer le ciel du foyer suivant la ligne de plus grande pente à parcourir, comme cela a été fait dans les machines du Nord.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

UNNEL DU MONT CENIS.

Fig. 3.

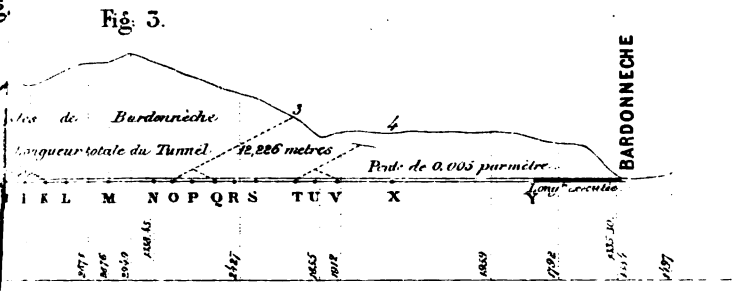
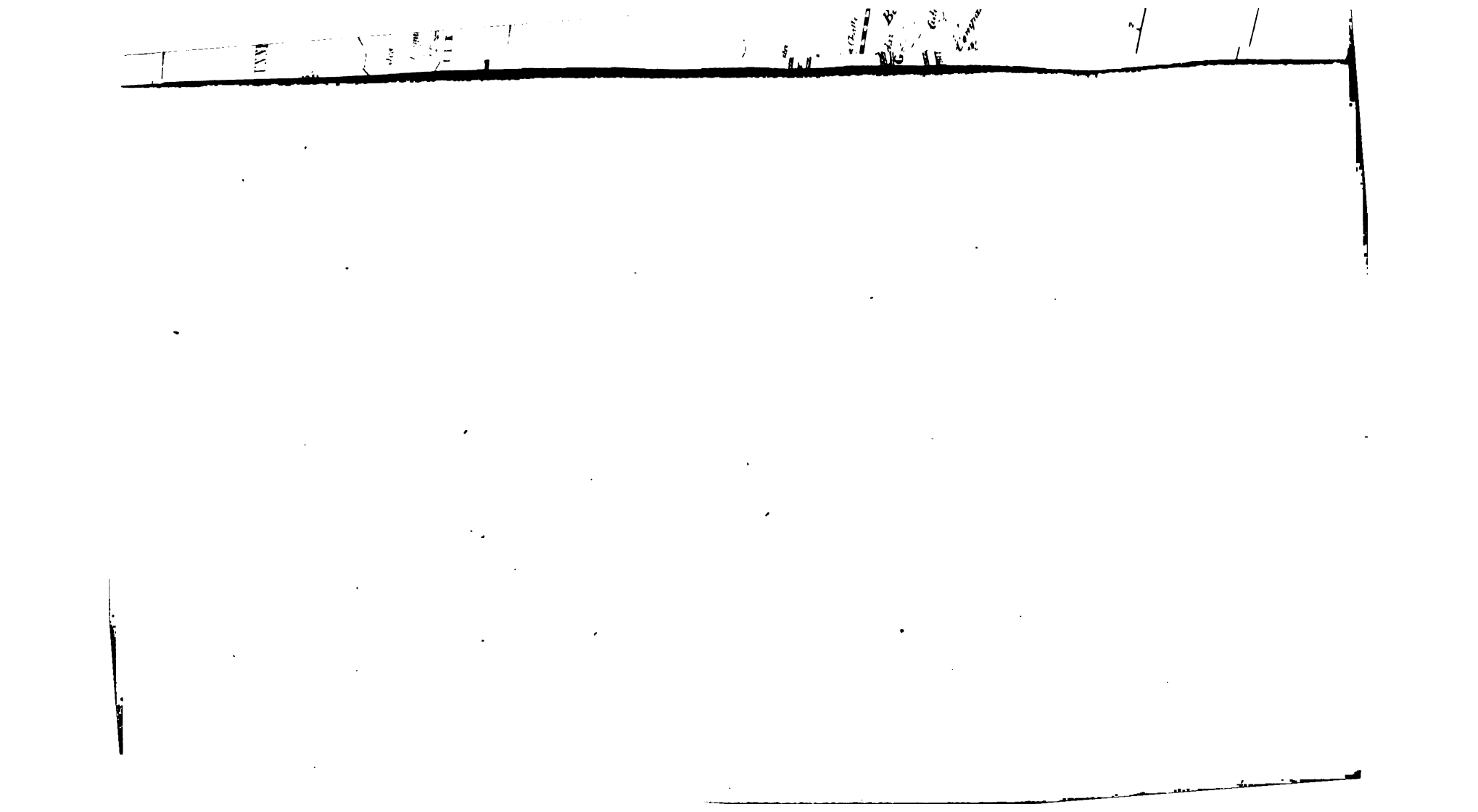


Fig. 4.

Echelle de 0m 01 pour 1 kilo pr les Figs 3 et 4

2 3 4 5 6 7 8 9 10 Kilomètres

Etabl.t et imp.rie de Noblet et Baudry.



TUNNEL DU MONT CENIS.

Fig. 3.

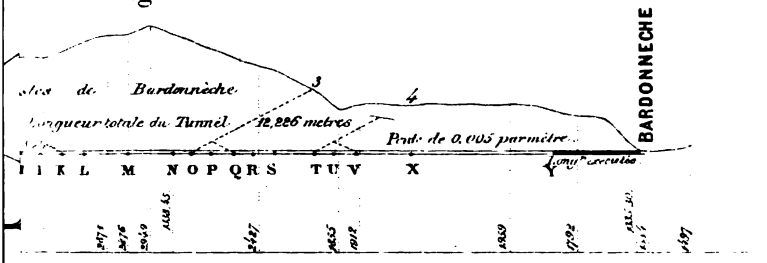
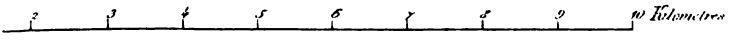


Fig. 4.

Echelle de 0m 01 pour 1 kilo pr les Figs 3 et 4



Etabl.t et imp.rie de Noblet et Baudry.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1863)

N° 23

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Niveau d'eau applicable aux locomotives de fortes rampes*, par M. Nozo. (Voir le résumé de la séance du 17 juillet, page 246.)

2° *Machines à élever l'eau dans les chemins de fer*, par M. Chavès. (Voir le résumé de la séance du 17 juillet, page 247.)

3° *Construction des grands tunnels*, par M. Eugène Flachat. (Voir le résumé de la séance du 7 août, page 258.)

4° *Perturbations occasionnées par les tremblements de terre sur certains forages*, par M. Ch. Laurent. (Voir le résumé de la séance du 7 août, page 260.)

5° *Méthode de traitement de résidus cuivreux provenant des fabriques de nickel* (Analyse par M. Courtépée d'une note de M. Boudard sur). (Voir le résumé de la séance du 4 septembre, page 262.)

6° *Fabrication des briquettes par la machine Jarlot*, par M. Mathieu Henri. (Voir le résumé de la séance du 4 septembre, page 264.)

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. Bergeron, membre de la Société, un exemplaire d'une Notice sur les *chemins de fer suisses et les rail-way Clearing-House de Londres.*

2° De M. Pascal, membre de la Société, une Note sur *divers appareils servant à la manutention des marchandises à la gare du Great-Western.*

3° De M. Gaget, membre de la Société, de la part de M. Ferdinand de Lesseps, cinq volumes des *Notes et Documents officiels sur le percement de l'isthme de Suez*, et un exemplaire du rapport sur les *travaux du canal de Suez, en* 1862, par M. J. Hankshau, président de la Société des ingénieurs civils de Londres.

4° De M. Louis Lazare, un exemplaire de la deuxième livraison du 3e volume de ses *Publications administratives.*

5° Un exemplaire d'une brochure sur la *Société de crédit des industries brevetées.*

6° De MM. Noblet et Baudry, éditeurs, le numéro de mars, avril, mai et juin de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

7° De MM. Armengaud frères, les numéros de juillet, août et septembre du *Génie industriel.*

8° Les numéros de juillet, août et septembre de la *Revue les Mondes*, par M. l'abbé Moigno.

9° Les numéros de juillet, août et septembre du Bulletin de *la Presse scientifique des Deux-Mondes.*

10° Le numéro de novembre 1862 du bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers.*

11° Les numéros d'octobre, novembre et décembre 1862 du Bulletin de la *Société de l'industrie minérale.*

12° Les numéros 7 et 8 du Bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

13° Les numéros des premier et deuxième trimestres de 1863 des Mémoires de la *Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres de l'Aube.*

14° Les numéros de juin, juillet et août des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

15° De M. Desnos, membre de la Société, les numéros de juillet, août et septembre de son journal l'*Invention.*

16° Le numéro de juillet du Bulletin de la *Société industrielle d'Amiens.*

17° Les numéros de mai, juin et juillet du Bulletin de la *Société d'encouragement.*

18° De M. Oppermann les numéros de juillet, août et septembre des *Nouvelles Annales de la construction* et du *Portefeuille économique des machines*, et son *Album pratique de l'art industriel.*

19° Les numéros 5, 6, 7 et 8 de la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics.*

20° De M. Flachat, membre de la Société, un *rapport sur la construction des grands tunnels.*

21° De M. Yvon Villarceau, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage intitulé : *Recherches sur le mouvement et la comparaison des chronomètres.*

22° Les numéros 1, 2 et 3 de la *Revue des Ingénieurs autrichiens.*

23° Le numéro 2 des *Annales de l'association des ingénieurs industriels de Madrid.*

24° De M. Lacroix, éditeur, les numéros du premier semestre 1863 des *Annales du Génie civil.*

25° De M. Arson, membre de la Société, un *Compte rendu des expériences exécutées dans l'usine de Saint-Mandé sur l'écoulement des gaz en longues conduites.*

26° Un exemplaire du *Rapport du conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer des Charentes.*

27° De M. Thouvenot, membre de la Société, un exemplaire de son *Mémoire sur le moyen de franchir les Alpes ou toute autre chaîne de montagnes sur un chemin de fer avec des rampes de 5 à 6 p. 100.*

28° Les numéros de juillet, août et septembre du journal *The Engineers.*

29° De M. Ebray, les exemplaires suivants :

1° Une Notice sur la *terre à foulon et sur les poudingues tertiaires.*

2° Une Notice sur les *courses proposées à la Société géologique*, par un de ses membres (environs de Nevers).

3° *Les affleurements des étages ne représentent pas les limites des anciennes mers.*

4° *Considérations sur quelques questions de géologie.*

5° Sur une *conséquence du principe de la surdissolution.*

6° Note sur les derniers *affleurements de l'étage urgonien dans le sud du bassin parisien.*

7° Note sur le *mode de formation des poudingues de Nemours.*

8° Remarque sur les *faunes des couches à oolithes ferrugineuses.*

9° Notice sur les *silex en forme de haches.*

10° Note sur la *constitution géologique du département du Mont-d'Or et de ses dépendances.*

11° Notice sur la *stratigraphie du système oolithique inférieur des environs de Tournus et d'une partie du département de la Côte-d'Or.*

12° *Stratigraphie moyenne de la craie moyenne de la vallée du Cher et de la vallée de l'Indre.*

13° *Stratigraphie de l'étage albien des départements de l'Yonne, de l'Aube, de la Haute-Marne, de la Meuse et des Ardennes.*

14° Notice sur le *terrain jurassique des environs de Verpillière* (*Isère*).

15° Notice sur la *position des calcaires caverneux autour du plateau central.*

16° *Stratigraphie du système oolithique inférieur du département du Cher.*

17° Notice sur l'*Ammonites bullatus.*

18° Notice sur la *ligne de propagation de quelques fossiles, et considérations géologiques.*

19° Notice sur la *présence de l'étage bathonien et de l'étage bajocien à Crussol* (*Ardèche*).

20° Notice sur la *composition de l'appareil apicial* et sur le *genre protophytes.*

Les Membres nouvellement élus sont les suivants :

Au mois de juillet :

MM. Banderali, présenté par MM. Petiet, Chobrzynski et Guérard.
Lencauchez, présenté par MM. Faure, de Mastaing et Laurens.
Mauguin, présenté par MM. Callon, Faure et Sébillot.

Au mois de septembre :

MM. Arnauld, présenté par MM. Love, Richoux et Plazolles.
Evans, présenté par MM. Callon, Cauvet et Lecœuvre.
Marin, présenté par MM. Callon, Faure et Vée.
de Richemont, présenté par MM. Faure, Priestley et Sarazin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1863

Séance du 17 Juillet 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Armengaud jeune, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de l'ordre de Saint-Stanislas de Russie.

M. Nozo donne la description d'un dessin qu'il dépose sur le bureau, représentant un niveau d'eau applicable aux locomotives de fortes rampes.

L'importance qu'on attache à la connaissance exacte du niveau de l'eau dans les chaudières des locomotives, a été l'objet de nombreux essais faits au chemin de fer du Nord. Les moyens employés jusqu'à ce jour ont été les tubes communicants en verre ou cristal, et les robinets jauges, appliqués simultanément. Jusqu'à ce jour, ce système avait répondu aux besoins du service; mais aujourd'hui la construction des nouvelles machines dites de fortes rampes, a nécessairement amené à modifier cet appareil, qui ne rendait plus les services dont on avait besoin. M. Geoffroy, membre de la Société, chef du bureau des Études au chemin de fer du Nord, vient de résoudre la question par la disposition suivante :

1° Il conserve l'ancien tube en cristal suffisamment allongé pour indiquer tous les niveaux apparents de l'eau dans le générateur, et cela dans toutes les conditions d'alimentation et d'inclinaison des voies.

2° Il place sur le flanc de la chaudière, sans communication avec l'intérieur, un niveau de géomètre (rempli d'un mélange incongelable d'eau et d'alcool), de telle manière que sur une voie horizontale, le ménisque de l'instrument coïncide avec celui du tube marquant le niveau moyen de l'eau.

3° Il donne à ce second tube une longueur telle que son milieu soit sur la ligne d'intersection des plans d'eau apparents.

4° Il ramène l'une des bouteilles de cet instrument près du tube indicateur, et ferme complétement l'appareil au moyen d'un tuyau réunissant les deux extrémités, afin d'éviter toute évaporation. Un petit entonnoir à robinet peut, en tout cas,

servir à régler de nouveau l'appareil, si l'évaporation se produit par une cause quelconque.

5° Il dispose, entre le tube en cristal et la bouteille du niveau, mais sans que cela soit indispensable, une vis à filets très-allongés, faisant mouvoir à volonté une aiguille à trois pointes. L'écartement des deux pointes qui courent le long du tube en cristal, représente les traces des niveaux maximum et minimum de l'eau dans le générateur, dans toutes les situations possibles de la machine sur les voies de fer. Par conséquent, lorsqu'on manœuvrera la vis pour mettre l'aiguille simple en coïncidence avec le ménisque du niveau géodésique, le ménisque du tube en cristal devra toujours être compris entre les deux pointes glissant le long du tube en cristal.

6° Il installe subsidiairement une échelle graduée, sur laquelle le ménisque du niveau additionnel indiquera les dérivations de la machine sur l'horizontale, autrement dit les pentes du chemin sur lequel on chemine.

Dans ces conditions, le mécanicien n'a qu'à jeter un coup d'œil sur le nouvel appareil, pour voir si le ménisque du tube en cristal ne s'écarte pas de celui de l'instrument (soit en dessous, soit en dessus) de plus de la demi-distance des deux pointes. En manœuvrant l'aiguille, s'il le juge nécessaire, jusqu'à ramener sa pointe unique sur le ménisque du niveau géodésique, les deux pointes lui retraceront matériellement les deux limites de l'alimentation. Il est bien entendu que les formes du niveau géodésique peuvent être très-variées. Il n'y a pas d'autres précautions à prendre que celles qu'observent les opticiens. Au besoin la branche inférieure de l'appareil peut servir de main courante; la partie supérieure peut être composée d'un tuyau de très-petite section.

M. Nozo termine cette communication en rappelant que, dans la construction des locomotives appelées à faire le service sur les fortes rampes, il est bon, pour conserver au champ d'alimentation la plus grande étendue possible, de disposer le ciel du foyer suivant la ligne de plus grande pente à parcourir, comme cela a été fait dans les machines du Nord.

M. Chavès donne ensuite communication de sa seconde note sur les machines à élever l'eau.

Il cite, en premier lieu, de nouvelles expériences sur une pompe mue à vapeur, et desquelles il résulterait que l'on a pu, en remplaçant des garnitures de piston usées, par de neuves, accroître le débit par coup de piston de la pompe de $8^{l},60$ à $9^{l},60$, sans que pour cela la dépense de combustible, par coup de piston également, ait notablement varié.

Puis il reprend la comparaison de machines, qui faisait l'objet de sa première note, et à ce sujet demande à discuter à nouveau quelques-unes des objections faites aux résultats qu'il avait obtenus.

Il rappelle que la comparaison en question portait sur deux espèces de machines, désignées, par abréviation de langage, l'une machine locomobile, et l'autre machine fixe.

La machine dite locomobile devant s'entendre d'un système composé : 1° d'un générateur tubulaire ordinaire, de $8^{m},60$ de surface de chauffe, fonctionnant à une force de 5 à 6 chevaux; 2° d'un cylindre à détente fixe aux $\frac{1}{3}$, sans enveloppe de vapeur, placé à peu près immédiatement contre le générateur, avec piston marchant à une vitesse de 100 à 110 tours par minute, et vapeur s'échappant dans la cheminée.

La machine désignée *fixe*, représentant un système composé : 1° d'un générateur ordinaire à deux bouilleurs ou à deux réchauffeurs, d'une surface de chauffe totale de $6^{m},2$ et fonctionnant à une force de 4 chevaux ; 2° d'un cylindre à détente variable réglée momentanément au $\frac{1}{3}$, sans enveloppe de vapeur, placé à une distance de 5 à 6 mètres de la chaudière, et son piston marchant à une vitesse de 20 à 30 tours par minute.

Dans ces conditions, il avait trouvé que la machine locomobile rendait 1.55 fois plus de travail que la machine fixe, pour une même dépense de combustible dans les deux cas.

C'est ce résultat qu'il va chercher à vérifier par des considérations nouvelles; et tout d'abord à l'aide de diagrammes à l'indicateur de Watt relevés sur deux machines semblables à celles qui ont fait l'objet de la première comparaison.

En discutant ces diagrammes, il fait remarquer qu'il en ressort que, pour une tension de vapeur de 5^{atm} à la chaudière, on a obtenu les tensions suivantes dans les cylindres :

DÉSIGNATION DES CYLINDRES.	TENSION à l'admission.	TENSION à l'échappement.
1° Cylindre fixe.....	$4^{atm},6$	$1^{atm},15$
2° Cylindre locomobile.....	5^{atm}.	1^{atm}.

La perte de pression à l'admission dans le premier cas provient, pour la plus grande partie, du fait de la détente; car un diagramme relevé sur le même cylindre fixe, mais dont on a extrait les glissières de détente du tiroir, ne donne plus qu'une perte de $0^{atm},1$.

Il signale les formes comparatives que présentent ces diagrammes à l'origine même de l'admission; dans le diagramme sur locomobile, on remarque un excédant de pression sur la pression même de la chaudière, et dans le diagramme sur machine fixe au contraire, on trouve qu'il y a dépression sensible sur la pression générale d'introduction qui est déjà elle-même notablement inférieure à la pression de la chaudière.

Il pense que l'on pourrait facilement s'expliquer ces deux faits, en considérant qu'à l'origine de l'admission, la vapeur qui afflue de la chaudière avec une certaine puissance vive, vient choquer contre le piston au point mort, et que si cette vapeur n'est pas liquéfiée à son entrée au cylindre, elle doit évidemment réagir contre le piston de l'indicateur de Watt. Il n'y aurait donc eu liquéfaction que dans le cylindre fixe seulement.

M. Chavès passe ensuite à la comparaison des travaux produits par un même volume de vapeur utilisée dans chacun des deux cylindres comparés.

Il prend pour ce calcul les diagrammes qui lui paraissent offrir le plus de confiance, relativement aux circonstances particulières de l'observation, et qui sont, pour la locomobile, un diagramme relevé avec une pression de $3^{atm},6$ à la chaudière, et pour la machine fixe, un diagramme relevé sous une pression de $4^{atm},7$.

Faisant les surfaces de ces diagrammes, en considérant les abscisses comme re-

présentant les courses des pistons à vapeur, et les ordonnées comme représentant des atmosphères, il trouve, en appelant D, D′ les diamètres de ces pistons :

$$T \text{ loc} = 0.75 \times (D = 0.15)^2 \times C^{te}$$
$$T' \text{ fixe} = 0.52 \times (D' = 0.24)^2 \times C^{te}$$

ou ramenant la première de ces expressions à ce qu'elle serait pour une pression à la chaudière de $4^{atm},7$, comme dans le second cas :

$$T \text{ loc} = 1.07 \quad D^2 \times C^{te} = 244 = C^{te} \qquad [a]$$
$$T' \text{ fixe} = 0.52 \quad D'^2 \times C^{te} = 300 = C^{te}. \qquad [b]$$

Ces travaux d'ailleurs sont dus à une même quantité de vapeur utilisée, car on a :

Pour locomobile :

(Volume engendré) $4^l,25$ + (espaces nuisibles) $0^l,50 = 4^l,75$;

pour machine fixe :

(Volume engendré) $3^l,43$ + (espaces nuisibles) $1^l,35 = 4^l,78$.

Soit $4^l,80$ dans les deux cas.

Mais ces volumes de vapeur ne représentent pas les volumes de vapeur formés par les chaudières.

M. Chavès avait trouvé dans la première note sur ce même sujet, qu'en appelant V′ le volume de vapeur formé dans la chaudière, et V le volume engendré par le piston, pendant l'admission à pleine pression, on avait les relations suivantes :

$$\text{Pour locomobile : } \frac{V'}{V} = 1.05;$$

$$\text{pour machine fixe : } \frac{V'}{V} = 2.1.$$

Ces nombres ont paru surprenants et ont même été mis en doute; on a dit qu'il pouvait y avoir eu erreur dans les calculs, par suite de ce qu'il n'avait pas été tenu compte des quantités d'eau vésiculaires mécaniquement entraînées par la vapeur.

M. Chavès pense que dans le cas particulier des expériences qui ont donné lieu au résultat $\frac{V'}{V} = 2.1$, ces causes d'erreur ne pouvaient avoir d'influence appréciable.

Car, en premier lieu, pendant ces expériences faites dans des conditions exceptionnelles de garantie de vérité, on avait par erreur tenu l'eau dans la chaudière à un niveau notablement inférieur à celui des carneaux; la vapeur formée avait donc été surchauffée; il n'est donc pas probable qu'elle ait entraîné de notables quantités d'eau.

D'ailleurs il fait remarquer que dans les expériences faites au concours de Mulhouse sur les quantités d'eau entraînées par la vapeur, malgré la vérification par plusieurs procédés, on n'a pu constater à la suite d'un grand nombre d'observations faites sur des chaudières de types différents, que des quantités d'eau insignifiantes, et qui ne s'élevaient en moyenne qu'à 4 p. 100 du poids de vapeur formé.

Il insiste encore sur la signification qu'il a attribuée aux expressions V′ et V, et dit que V′ représente la somme de trois quantités qui sont : d'abord le volume engendré V pendant l'admission, puis les espaces nuisibles, puis enfin les volumes

condensés entre la chaudière et le piston. Or, pour une machine de quatre chevaux, avec détente au $\frac{1}{3}$, les espaces nuisibles comptent déjà pour 0,34 V, de sorte que le volume de vapeur réellement utilisé est 1,34 V, et si l'on suppose qu'en moyenne sur des machines plus ou moins puissantes, la condensation est des 0,3 du volume de vapeur formé V′, on aurait déjà :

$$V' = 1{,}34\ V + 0{,}3\ V',$$

d'où $\frac{V'}{V} = 1{,}91$, rapport déjà bien près de 2,1.

Pour montrer la vraisemblance de ce dernier chiffre, il cite :

1° Une expérience de M. Tresca sur une machine de 30 chevaux, à un cylindre à détente au $\frac{1}{10}$, *et enveloppe de vapeur*, de laquelle on tire :

$$\frac{V'}{V} = 1{,}73;$$

2° Une expérience officielle sur une machine de 45 chevaux, semblable d'ailleurs à la précédente, et de laquelle il résulte, *en supposant que la chaudière a produit* 7^{l}5 *vapeur, par kilog. de houille*, que : $\frac{V'}{V}$ a été égal à : 1,68. Ainsi, même pour des cylindres à enveloppes de vapeur, le rapport $\frac{V'}{V}$ est encore de 1,7, comprenant pour 0,5 V environ d'espaces nuisibles.

Mais ce rapport devient très-voisin de l'unité, soit dans la machine locomobile définie en commençant, soit dans les machines Woolf ordinaires. Pour la machine locomobile, M. Chavès rappelle le rapport $\frac{V'}{V} = 1{,}05$ qu'il a déjà trouvé, et cite, en outre, à l'appui, une expérience de M. Nozo, communiquée à la Société dans la séance du 17 septembre 1858, avec cette recommandation que les résultats en pouvaient être « considérés comme sensiblement pratiques. »

Dans cette expérience on a trouvé :

$$V' = 14^{l},7, \text{ et } V' = 12{,}6;$$

soit très-sensiblement égaux.

Dans une machine Woolf de 15 chevaux, une expérience a donné :

$$V' = 102 \text{ litres},$$
$$V = 110;$$

soit encore V et V′ sensiblement égaux.

Le cylindre locomobile se comporterait donc exactement comme celui de la machine Woolf, avec enveloppe de vapeur.

M. Chavès ajoute que si les résultats consignés dans les ouvrages de M. Hirn étaient admis, on pourrait y trouver encore une confirmation du rapport

$$\frac{V'}{V} = 2{,}1.$$

Et, en effet :

M. Hirn a constaté par une série d'expériences :

1° Que dans une machine Woolf il y avait une perte de chaleur provenant unique-

ment du fait de la détente, et que cette perte, qui croît très-rapidement avec la détente, était de 14 p. 100 pour une machine au $\frac{1}{4}$;

2° Que la machine à détente au $\frac{1}{4}$ sans enveloppe, perdait sur la précédente, 21, 6 p. 100 du fait seul des condensations de vapeur, pendant la période d'expansion.

Par conséquent, cette dernière ne rendrait que 67, 4 p. 100 de la chaleur contenue par la vapeur, après sa sortie de la chaudière.

Or la vapeur entrée au cylindre étant égale dans la machine de 4 chevaux à 1,34 V —, et la chaleur de cette vapeur, représentant les 0,674 de la chaleur de la vapeur V′, sortie de la chaudière, on aura :

$$1{,}34\ V = 0{,}674\ V',$$

d'où

$$\frac{V'}{V} = 1{,}98,$$

rapport qui deviendrait au moins 2,1 pour la machine de 4 chevaux en question, en tenant compte de ce que cette dernière a une détente au $\frac{1}{5}$, et une très-petite force.

M. Chavès pense, en conséquence, qu'on peut admettre le rapport $\frac{V'}{V} = 2{,}1$ qu'il a trouvé, et l'appliquant aux résultats d'observations à l'indicateur de Watt qu'il a déjà rapportées, il en déduit que les travaux (*a*) et (*b*) sont dus, le premier à un volume de vapeur sortie de la chaudière, égal au volume utilisé 4^{l},8, et le second à un volume de vapeur formée égal à 7^{l},20; que par suite les travaux pour une même quantité de vapeur sortie de la chaudière, seront :

$$\text{T loc} = \frac{241}{4{,}8} \times \text{C}^{te} = 50{,}2 \times \text{C}^{te} \qquad (a)$$

$$\text{T′ fixe} = \frac{300}{7{,}2} \times \text{C}^{te} = 41{,}7 \times \text{C}^{te}, \qquad (b)$$

ou

$$\frac{T}{T'} = 1{,}2.$$

Ce rapport peut être vérifié de deux façons.

Une première vérification approximative peut être demandée à la formule ordinaire du travail à détente, dans laquelle on introduirait les pressions manométriques, d'admission et d'échappement constatées à l'indicateur de Watt, et les volumes de vapeur V′ réellement dépensée.

On trouve ainsi :

$$\frac{\text{T. loc}}{\text{T. fixe}} = 1{,}27$$

pour travaux relatifs à la dépense de vapeur réellement effectuée.

D'ailleurs, la formule ordinaire du travail à détente concorde suffisamment avec la pratique, et M. Chavès en cite un exemple. La seule condition est d'appliquer la formule comme on le fait d'ailleurs habituellement, c'est-à-dire sans tenir compte des espaces perdus; il s'établit ainsi des compensations approximatives entre le surcroît de dépense réelle de vapeur, et les pertes de vapeur par condensation.

Une seconde vérification peut être tirée du calcul des calories dépensées, d'après la formule de M. Régnault; on trouvera ainsi :

1° Pour la machine fixe de 4 chevaux (expérience citée dans la première note) :

Calories dépensées par heure : 78,067
Force produite — 1,109,700 kilogrammètres.

Soit pour le travail produit par calorie sortie de la chaudière, $14^{km},21$.

2° Pour la machine locomobile :

Calories dépensées par heure : 15,644
Travail produit — 270,000 kilogrammètres.

Soit par calorie dépensée, travail produit : $17^{km},26$.

Rapport entre les travaux produits pour une calorie dépensée :

$$\frac{\text{T. loc.}}{\text{T'. fixe}} = \frac{17^{km},26}{14^{km},21} = 1,21.$$

M. Chavès conclut de ces calculs à la confirmation du rapport $\frac{\text{T. loc.}}{\text{T'. fixe}} = 1,2$ qu'il a trouvé par l'évaluation des diagrammes.

Ayant ainsi déterminé le rapport des travaux produits pour une même dépense de vapeur, dans les deux espèces de machines comparées, il cherchera à déterminer les quantités de vapeur produites par les chaudières pour une même dépense de combustible, et, combinant les deux rapports, il en déduira le rapport des travaux produits pour une même dépense de combustible.

Il rappelle que dans les précédentes expériences qu'il avait citées, il avait trouvé :

1° Par 13 expériences sur chaudières fixes de 4 à 6 chevaux, vapeur produite par kilogramme de charbon, $4^{k},8$;

2° Par 9 expériences sur locomobiles de 3 à 6 chevaux, vapeur produite par kilogramme de charbon, $6^{k},7$.

D'où en faveur des dernières un avantage de 39 p. 100.

Une différence aussi marquée a paru surprendre quelques membres, et on a notamment cité des expériences faites à Mulhouse, et qui avaient donné des résultats beaucoup moins tranchés.

M. Chavès répond que pour que des résultats soient comparables, il faut qu'ils soient obtenus dans des circonstances aussi identiques qu'il est pratiquement possible, et il ne pense pas que ce soit ici le cas; car les résultats constatés au concours de Mulhouse provenaient de la comparaison de chaudières de forces et de formes essentiellement différentes de celles qu'il a comparées.

Il fera cependant remarquer que dans des expériences antérieures à ce concours, on avait trouvé que des générateurs à bouilleurs ordinaires avaient produit une vaporisation de $4^{k},88$ par kilogramme d'un combustible dit de qualité très-inférieure, et désigné sous le nom de « Sarbruck très-menu, » tandis que les machines locomobiles qu'il a citées avaient produit $6^{k},65$ de vapeur par kilog. de poussier de houille, combustible qui ne vaut probablement pas mieux que le sarbruck très-menu. Il retrouverait donc là plutôt une confirmation qu'une infirmation des résultats qu'il a tirés de ses observations faites sur des chaudières alimentées de combustibles de toutes espèces de qualités, et souvent des plus médiocres.

Il rappelle, en outre, qu'il a déjà cité les expériences faites par M. F. Mathias, ingénieur de la traction, à Fives, et dont les résultats sont :

1° Par 3 expériences sur chaudières à bouilleurs de 22^{m2} de surface de chauffe, vapeur produite : $5^{k},56$;

2° Par 3 expériences sur chaudières tubulaires de 70^{m2} de surface de chauffe, vapeur produite : $8^{k},35$.

Différence en faveur des tubulaires, 48 p. 100, sauf à tenir compte de leur plus grande surface de chauffe.

Il cite, en outre, les expériences rapportées par M. Nozo dans la séance de novembre 1854, et qui ont donné en moyenne 40 p. 100 en faveur des chaudières tubulaires.

Il cite encore d'autres expériences plus récentes de M. Nozo, toujours dans le même sens, et même avec des résultats qui seraient encore bien plus tranchés, s'il n'y avait à y faire une restriction relative à l'inégalité de force des chaudières comparées.

Enfin, il rappelle le Mémoire de M. Lepellerin, dont le résultat général de comparaison se résume en un avantage de 35,5 p. 100 en faveur des chaudières tubulaires.

Ces diverses citations lui semblent une confirmation du chiffre de 39 p. 100 qu'il a indiqué, et il en tire, pour la comparaison définitive des travaux produits par les deux espèces de machines :

$$\frac{\text{T. loc.}}{\text{T'. fixe}} = 1,2 \times 1,39 = 1,67.$$

Mais ce rapport ne s'appliquant qu'aux travaux produits dans les cylindres, pour le comparer au rapport des travaux en eau élevée, il faudra encore y introduire :

1° Les coefficients de rendement sur l'arbre, qu'il a trouvés être de :

$K = 0,535$ pour la machine fixe,
$K = 0,566$ — locomobile comparée;

2° Les coefficients de rendement, en effet utile des pompes que conduisaient ces deux machines, et qui étaient de :

67 p. 100 pour la pompe de la machine fixe à action directe,
63 p. 100 — — locomobile, avec transmission par courroie;

3° Enfin le rapport précédent résultant de la comparaison avec une machine locomobile de 6 chevaux, tandis que dans les expériences de la première note, il ne s'agissait à peu près uniquement que de machines locomobiles de 3 chevaux, il y aura encore une correction à faire, en raison des coefficients de rendement des machines locomobiles de 3 et de 6 chevaux.

Ces coefficients ont été trouvés dans des expériences comparatives au frein :

Pour machines de 3 chevaux : $R = 0,576$;
— de 6 chevaux : $R = 0,62$.

Il faudra introduire toutes ces corrections dans le rapport trouvé, qui deviendra ainsi :

$$\frac{\text{T. loc.}}{\text{T. fixe.}} = 1,54.$$

Résultat excessivement rapproché de celui qu'ont donné les expériences directes sur les pompes, puisqu'il a été trouvé :

$$\frac{\text{T. loc.}}{\text{T. fixe.}} = 1,55.$$

M. Chavès n'avait entrepris ce travail que dans le but d'en arriver au résultat qui

vient d'être énoncé; mais en recherchant des résultats d'observations qui s'y rapportassent, il a cru reconnaître des indications d'une nature moins restreinte, qu'il lui a paru utile de signaler.

Ces expériences sont résumées dans un tableau dont les faits saillants sont les suivants :

1° Une machine de 45 chevaux, à détente au $\frac{1}{15}$, par un seul cylindre enveloppé de vapeur, a consommé par cheval et par heure :

$1^k,365$ pour la première série d'expériences,

$1^k,288$ pour la deuxième —

Une machine Woolf de 45 chevaux, à détente au $\frac{1}{4}$, consommait :

$1^k,54$ résultat brut d'observation,

$1^k,85$ avec corrections approximatives, portant sur l'état du foyer au commencement et à la fin de l'expérience.

Enfin, une machine Woolf de 80 chevaux aurait consommé dans les mêmes conditions, $1^k,23$.

La première machine a une force moyenne entre les deux dernières, à cet égard elle leur est donc comparable; or, sa consommation moyenne est les 0,94 de la moyenne des consommations des deux dernières, tandis que théoriquement, d'après les conditions de sa marche, cette machine n'aurait dû consommer que les 0,68 des machines Woolf.

2° Une seconde machine de 30 chevaux, à détente au $\frac{1}{15}$, par un seul cylindre enveloppé de vapeur, a produit, par calorie sortie de la chaudière, 38^{km}, et une machine Woolf de 50 à 60 chevaux, a produit 37^{km}, c'est-à-dire à fort peu près autant.

Si l'on fait abstraction de leur différence de force, on voit que la machine à un cylindre à détente au $\frac{1}{15}$, n'a pas produit sensiblement plus que la machine Woolf à détente au $\frac{1}{4}$, et que par conséquent, théoriquement, son rendement serait beaucoup inférieur.

Ces résultats ont paru remarquables, et de nature à pouvoir intéresser la Société.

M. Tresca trouve que les conclusions que M. Chavès a tirées de ses expériences sont trop générales et qu'il ne faudrait pas les considérer comme décisives.

Les diagrammes qu'il reproduit démontrent que la comparaison principale a été faite entre une bonne machine locomobile, bien installée, et une machine fixe sans enveloppe, placée dans des conditions défavorables.

La condition d'être fixe ou locomobile ne saurait vraiment faire qu'une machine soit bonne ou mauvaise, et M. Chavès ferait bien de revoir son travail avant de l'insérer au Bulletin.

M. Fourneyron ne partage pas l'opinion de M. Tresca quant aux expériences faites par M. Chavès; il trouve, au contraire, ce mémoire fort bien fait, l'auteur a eu le courage d'opposer une digue au courant, et nous devons lui en savoir gré; il croit que M. Chavès a parfaitement le droit de publier son mémoire tel qu'il est, et ce serait à tort, selon lui, qu'on enlèverait à ce travail fort intéressant son cachet de franchise et de vérité.

M. Fourneyron cite à l'appui les expériences faites à l'occasion du concours de Mulhouse sur les chaudières à vapeur où l'on voit, dans une autre proportion, 114,7 à 100, les chaudières tubulaires donner par kilogramme de houille plus de vapeur que les chaudières à bouilleurs. Mais il fait immédiatement remarquer l'énorme différence entre les 49,46 — 89,00 — 103,24 mètres carrés de surfaces de chauffe pré-

sentées par les trois chaudières tubulaires du concours et les 27,25 mètres carrés seulement de l'unique chaudière à bouilleurs comparée.

C'est à cela, dit-il, que la différence de production de vapeur entre les deux systèmes doit être attribuée. Et il en trouve la preuve dans les expériences sur la chaudière de Wesserling, munie de réchauffeurs procurant avec celles de la chaudière et des bouilleurs une surface de chauffe totale de 101 mètres carrés, expériences qui ont donné, pour la même quantité de houille brûlée, 1100 à 1300 kilogrammes en 12 heures, 7,65 à 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, c'est-à-dire un peu plus même que les 7,56 kilogr., en moyenne générale de la meilleure, *sous ce rapport*, des trois chaudières tubulaires du concours de Mulhouse. (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, mars 1860, p. 166, et mai 1860, tableau V.)

Au point de vue de la génération comme à celui de l'emploi de la vapeur au moyen d'appareils généralement en usage, le Mémoire de M. Chavès posera d'utiles jalons dans le vaste champ des machines à vapeur, où il reste encore tant à explorer.

M. Fourneyron regretterait que, sous prétexte de quelques expressions susceptibles de critique plus ou moins fondée, ce travail consciencieux d'un Membre très-actif de la Société ne fût pas porté à la connaissance de tous ses collègues.

M. le Président fait observer que personne ne conteste les droits de M. Chavès, quant à l'impression de son Mémoire; mais il croit, dans l'intérêt même de l'auteur, devoir l'engager à prendre en sérieuse considération les observations tout amicales qui viennent de lui être faites par M. Tresca. Bien que la Société des Ingénieurs civils ne soit pas responsable des opinions de chacun de ses Membres, même dans la publication de ses bulletins, il est bon de ne pas laisser passer, sans les discuter, des communications comme celle que nous venons d'entendre; d'ailleurs, les séances de la Société ont pour but d'éclairer les questions par la discussion, mais ce n'est pas après la simple lecture d'un Mémoire aussi considérable, qu'on peut entamer une discussion sérieuse.

M. le Président engage donc M. Chavès à déposer son Mémoire au siége de la Société, afin que les Sociétaires qui désirent prendre part à la discussion puissent consulter ce Mémoire et préparer leurs notes pour la prochaine séance.

M. Normand fait observer que pendant longtemps les ingénieurs ont été égarés en prenant à la lettre les Tables du travail de la détente qui figurent dans les traités de mécanique, sur la consommation et le rendement des machines. En suivant ces errements, il n'est pas un commençant qui ne puisse se dire qu'il ferait mieux que toutes les machines construites jusqu'à ce jour. Il est temps, dit-il, de mettre un terme à ces erreurs, et il croit utile de les signaler dans l'intérêt général.

M. Normand, revenant à la question, cite plusieurs expériences importantes qui ont été faites sur des machines marines, et qui toutes sont parfaitement en rapport avec les conclusions développées par M. Chavès, prouvant la supériorité pratique des machines de Woolf, et l'inanité des effets économiques de la détente, employée dans un seul cylindre, sans enveloppe de vapeur.

En 1844, une machine marine de 120 chevaux fut montée au Havre sur le bateau *la Bretagne*. Cette machine, dont la consommation était fort grande, fut munie d'un appareil de détente variable; on ne put l'employer, car la diminution de dépense qui en résultait n'était nullement en rapport avec la réduction de puissance. Après un an de navigation, la compagnie se trouva ruinée en grande partie par la consommation excessive de cette machine.

En 1846, le grand navire à vapeur *Great Britain*, construit à Bristol, par Brunel, commençait son service transatlantique. On avait eu l'espoir de réaliser de grandes économies de combustible, par un large emploi de la détente; l'admission normale devant être de $\frac{1}{6}$ de la course seulement.

Le résultat de cette tentative fut déplorable; non-seulement, on ne réalisa guère que la moitié de la puissance attendue, mais la consommation se trouva telle, que par suite de l'allongement des traversées, on manqua plusieurs fois de combustible.

MM. Maudslay chargés de mettre cette machine en état de service, y réalisèrent de grandes améliorations. Le *Mechanic's Magazine* de 1846 contient des détails sur cette transformation et des courbes obtenues à l'indicateur avant et après la correction. Elles montrent que l'admission de la vapeur avait été portée avec avantage au triple de ce qu'elle était d'abord.

Dans cette même année, on essaya, en France, l'aviso *le Comte d'Eu*, de 320 chevaux de force nominale. La production utile de vapeur se trouvant tout à fait insuffisante, on réduisit l'admission normale de $\frac{2}{10}$, à $\frac{1}{10}$ seulement; le nombre de tours, qui avait dû être de 30, était abaissé à 20. La dépense apparente de vapeur n'était plus que 0,27 de ce qu'elle eût dû être, et cependant non-seulement la consommation de charbon prévue était atteinte, mais encore la condensation qui eût dû s'opérer dans de bonnes conditions se faisait mal.

Vers la même époque, une compagnie entreprenait de faire le service du Havre à New-York avec des bâtiments de la marine royale, dits alors frégates de 450 chevaux. La continuation du service devint impossible par suite de la consommation exagérée des machines; sur 12 traversées il y eut 4 ou 5 relâches à Halifax pour manque de charbon. Cependant toutes les machines étaient munies d'appareils de détente variable, et on ne se fit pas faute d'essayer l'efficacité de ces organes qu'on pourrait définir en disant qu'ils faisaient fonctionner les machines à puissance variable, mais à dépense constante.

Il y a quelques années, l'amirauté anglaise a fait exécuter sur une frégate de 600 chevaux à 4 cylindres, une série d'expériences dans le but de déterminer si, en marchant à puissance réduite avec la moitié seulement des chaudières, il était plus avantageux d'employer la vapeur à grande détente dans tous les cylindres, ou à l'admission normale dans deux cylindres seulement. Les faits ont donné raison à ce dernier mode.

Enfin, il y a deux ans environ, le gouvernement américain a fait exécuter sur une frégate à vapeur une série d'expériences beaucoup plus complètes, dans le but de déterminer de la manière la plus rigoureuse quelles étaient, pour chaque degré de détente, les puissances et les consommations de vapeur et de combustible.

Les résultats de ces expériences ont été reproduits en détail dans le journal *The Artizan* de 1861 ou 1862. Ils mentionnent que le degré de détente reconnu le plus avantageux pour la production économique de la puissance dans la machine ci-dessus a été trouvé moitié de la course.

M. Normand reconnaît que ces faits ne concluent que contre l'impossibilité de réaliser les avantages théoriques de la détente, dans une machine sans surchauffe, et sans enveloppe de vapeur. Il a été à même de constater qu'avec l'une ou l'autre de ces dernières dispositions, et même avec les deux réunies, on peut avec avantage employer des détentes relativement prolongées; mais il pense que, même dans ce cas, il y aurait une limite moins éloignée qu'on ne le pense généralement, où un accroissement de détente ne se traduit plus par une augmentation de travail.

M. Normand est donc de l'avis de M. Chavès, et il a eu plusieurs fois l'occasion de constater, par des faits, que les résultats les plus économiques du travail de la vapeur ne peuvent être obtenus que par la détente successive dans deux cylindres, ainsi que cela a lieu dans les machines du système de Woolf.

M. le Président fait observer que si la théorie n'est pas toujours d'accord avec la pratique, ce n'est pas une raison pour attaquer les principes de la théorie d'une manière aussi tranchée que l'a fait M. Normand. Ces deux éléments sont faits pour se compléter l'un par l'autre, ce sont deux flambeaux qui éclairent et dont la lumière doit converger vers le même but.

M. Farcot (Léon) fait une observation au sujet d'une des conclusions de M. Chavès, qui lui paraît être en contradiction avec les faits, en avançant que les machines à deux cylindres avec admission du quart du volume final de la vapeur seraient égales ou supérieures, sous le rapport de l'économie de combustible, aux machines à un seul cylindre et à enveloppe fonctionnant avec admission du $\frac{1}{15}$ de la course.

Pour se convaincre de cette contradiction, il suffit d'examiner les chiffres mêmes des épreuves citées par M. Chavès de la machine élévatoire de la ville d'Angers, fonctionnant avec un seul cylindre et à l'admission du $\frac{1}{15}$.

Le chiffre de consommation de cette machine, constaté contradictoirement avec les formalités officielles, a été $1^k,36$, puis $1^k,25$ et $1^k,23$ de houille par heure et par cheval *mesuré en eau élevée*.

Si on suppose à la pompe un rendement approximatif de 80 à 85 pour 100, cette consommation correspond, sur l'arbre du volant, à $1^k,00$ environ par cheval utile et disponible. Ce chiffre est inférieur à tous les résultats connus des machines ordinaires à deux cylindres, fonctionnant avec admission du $\frac{1}{4}$ du volume final et à ceux cités par M. Chavès.

La consommation constatée pour la machine d'Angers est d'autant moindre, comparativement aux chiffres des autres machines, que les procès-verbaux mentionnent une particularité des plus importantes dont M. Chavès n'a point parlé. Ainsi, d'après le cahier des charges, il fallait chaque matin, et pendant tous les jours d'épreuve, mettre en feu une chaudière n'ayant pas fonctionné la veille; la machine avait trois générateurs à sa disposition et devait marcher chaque jour avec deux, en les employant tous les trois tour à tour. Tout le monde sait quelle influence énorme un fourneau froid exerce sur un générateur pour la dépense de combustible. De plus, la surface de chauffe avait été très-restreinte par raison de budget.

M. Farcot croit donc qu'en présence de ces faits, dont l'authenticité est incontestable, les machines à un seul cylindre, à enveloppe et à grande détente, dépensent moins de combustible que les machines ordinaires à deux cylindres sans détente dans le petit cylindre, ce qui est d'ailleurs conforme aux résultats pratiques constatés journellement dans les usines.

MM. Banderali, Lencauchez et Mauguin ont été reçus Membres de la Société.

Séance du 7 Août 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de M. Doyère, membre de la Société.

M. FLACHAT donne communication de son rapport sur le travail de M. Toni Fontenay, relatif à la construction des grands tunnels.

L'opportunité de l'étude à laquelle M. Fontenay s'est livré est incontestable, il est même à regretter que les idées neuves apportées par cet ingénieur ne soient pas venues plus tôt. Il est probable qu'elles eussent été d'un grand secours dans les travaux et projets en voie d'exécution ou de préparation pour la traversée des Alpes.

Cette traversée ne peut être effectuée que de deux manières : très-chèrement dans les conditions d'emploi du matériel actuel, qui évite le transbordement; ou économiquement en employant le matériel américain ou articulé, qui exigera le transbordement au pied des Alpes. Le premier système n'est possible qu'avec des courbes de 300 mètres de rayon au minimum. Les ingénieurs sont d'accord sur ce point. Les déplorables effets des courbes de 190 mètres de rayon dans la traversée des Alpes au Semmering ont fixé les données de l'expérience à cet égard. Mais le rayon de 300 mètres élève le coût kilométrique du chemin de fer à 600,000 fr., et même un million aux abords de la montagne. Il y a donc un grand intérêt à abréger le tracé dans ces parties. L'utilité des longs percements devient ainsi très-apparente.

L'idée véritablement neuve de M. Fontenay est de faire suivre à ces percements le thalweg des vallées d'accès aux cols, afin d'utiliser les dépressions naturelles du terrain pour diminuer la profondeur des puits. Dans l'application cela ne peut souffrir de difficulté, les tracés de souterrains droits ou courbes sont une question de méthode géométrique et de perfection d'instruments.

Si la disposition des thalwegs permet l'ouverture dans la direction des tunnels, de puits à 600 ou à 1,000 mètres de distance, la durée de ces ouvrages sera celle des travaux ordinaires du même genre.

Si le percement du mont Cenis avait pu être attaqué par deux puits, en outre des deux extrémités, la durée d'exécution eût été réduite dans le rapport de 3 à 1, puisque les ateliers auraient été au nombre de 6 au lieu de 2.

La seconde idée, également pratique, en tant que la configuration des profils des cols se prête à son application, est de faire des galeries inclinées au lieu de puits.

Le relèvement de la montagne est toujours si abrupte en approchant du sommet du col, qu'il peut y avoir intérêt, pour atteindre les points les plus rapprochés du milieu du percement, de suivre des lignes inclinées au lieu de foncer des puits verticaux. Il en résulte un autre avantage : celui de placer les chantiers aux orifices des galeries inclinées à une moindre hauteur dans la montagne.

M. Toni-Fontenay, appliquant ces deux idées aux divers tracés à longs percements, pour la traversée des Alpes, établit que celle du mont Cenis eût pu être effectuée en six à sept ans. Celle du Lautaret en quatre ans, du Splugen en cinq à six ans; celle du Bernardin en quatre à cinq ans; celle du Luckmanier, du Saint-Gothard et du Simplon en cinq ans; la longueur de ces percements variant entre 6,500 et 12,000 mètres.

La seconde partie du travail de M. Fontenay est consacrée aux moyens d'exécution. Il adopterait le système que M. Sommeiler a installé au mont Cenis avec quelques modifications. M. Fontenay entre dans quelques détails sur les appareils employés au mont Cenis et sur les résultats obtenus jusqu'à ce jour.

M. Flachat complète ces détails par ceux qu'il a recueillis lui-même dans une visite personnelle des travaux et par des extraits de l'intéressant rapport que M. Comte, ingénieur en chef des ponts et chaussées, vient de publier dans le dernier numéro des Annales.

M. Flachat résume en ces termes les résultats obtenus au mont Cenis : L'emploi de l'air comprimé, comme moteur, a désormais pris sa place dans les arts mécaniques, parce que les appareils de compression ont acquis toute la simplicité et le perfectionnement désirables, et parce que ce moteur constitue le meilleur moyen de transmettre le mouvement à grande distance.

L'emploi de l'air comprimé aux appareils à choc pour le percement des galeries a des avantages inappréciables comme docilité, température, énergie, élasticité et facilité de déplacement.

L'ensemble des appareils du mont Cenis est une œuvre dont le succès est aujourd'hui assuré. Il constitue un art qui prend la plus belle place dans l'exécution des travaux publics et dans l'industrie générale, pour la transmission de la force motrice, à cause de la grande subdivision dont il est susceptible pour le bocardage et le triturage des matières dures, et à cause de la grande élasticité du moteur.

La machine aéromotrice et le perforateur de M. Sommeiler donnent à l'industrie des moyens tout à fait nouveaux et féconds; l'usage s'en répandra parmi les populations ouvrières pour fournir la force à domicile sans bruit, sans soins, sans modifications de la température. Les plus puissantes chutes d'eau pourront également être utilisées pour transmettre à grande distance leur puissance motrice et employer ainsi dans la vallée la force hydrauliqne recueillie dans la montagne.

Les modifications proposées par M. Toni-Fontenay aux appareils de M. Sommeiler sont l'objet de quelques observations qui trouvent leur place dans le rapport de M. Flachat.

M. Flachat fait ressortir ce qu'a de nouveau, au point de vue de l'utilisation de la poudre pour l'extraction des roches dures, l'emploi du perforateur. Dans la méthode ordinaire, l'explosion détache la roche sur la face attaquée par le trou de mine; dans le système nouveau, une rangée de trous crée un plan nouveau de déplacement, de telle sorte que l'effet de la poudre est ainsi singulièrement augmenté.

Il émet le vœu que l'administration française, certaine maintenant du succès, prenne sa part des travaux qui s'effectuent sur notre territoire, qu'elle adopte l'invention et l'inventeur, qu'elle le mette à même de réaliser les améliorations que le défaut de moyens financiers a suspendues depuis la mort de M. de Cavour. N'est-il pas juste, n'est-il pas digne, qu'éclairée par ses ingénieurs sur la parfaite praticabilité du système, l'administration des ponts et chaussées reprenne dans les travaux sur le sol français la place qu'elle n'aurait d'ailleurs jamais dû aliéner, tout en laissant la direction de l'œuvre à l'homme de génie dont la patiente étude a réussi à faire un des plus merveilleux ensembles mécaniques de notre temps?

M. Tresca a visité dernièrement les travaux du mont Cenis, et, quelque frappante que soit la description donnée par M. Flachat, elle est bien loin encore de rendre compte de l'étonnante activité qui règne sur les chantiers. A Modane, treize perforateurs fonctionnent à la fois, et l'affût qui les porte est peuplé d'une quarantaine

d'ouvriers, distribués entre les différentes machines et chargés chacun d'un service différent; la direction des trous, des jets de nettoyage, le remplacement des barres, le graissage et la réparation des machines motrices, occupent incessamment tout ce monde pendant la perforation. Les mécaniciens sont plus spécialement chargés du remplacement des machines; à cet effet, le tender est toujours pourvu de plusieurs machines de rechange, que l'on met en place aussitôt que l'une des premières est hors de service. M. Tresca ajoute que M. Sommeiler vient de publier, en italien, un mémoire complet sur les travaux de Modane et de Bardonnèche; les nombreuses planches qui accompagnent ce mémoire permettront à tous les ingénieurs de comprendre cette magnifique installation dans tous ses détails.

M. LE PRÉSIDENT remercie MM. Flachat et Fontenay de leur communication et propose l'insertion de l'étude de M. Fontenay et le rapport de M. Flachat dans le Bulletin. Cette proposition est adoptée.

L'ordre du jour appelle une communication de M. Ch. Laurent sur des perturbations occasionnées par les tremblements de terre sur certains forages; M. Laurent étant absent, M. Lippmann a bien voulu se charger de lire cette communication.

Pendant l'année 1862, les deux sondages de Saïda et de Solthans, cercle de Boutaâda (Hodna), province de Constantine, présentèrent des accidents très-extraordinaires.

M. Jus, directeur des travaux, nous informa des faits qui se produisaient. Isolés, ces faits pouvaient se ranger dans la catégorie des accidents qui affectent quelquefois les travaux de sondages. Obstruction par suite de la chute du ciel argileux, qui recouvre souvent les couches sablonneuses aquifères, écrasement des colonnes par les argiles, etc. Mais les circonstances ordinaires ne se présentaient pas suffisamment pour justifier uniquement ces idées. Il y avait là des causes qui agissaient plus brutalement que d'habitude et qu'il était difficile de s'expliquer. Aussi aux bonnes indications que M. Jus nous donnait sur la nature de ces accidents, se représentant de nouveau après leur réparation, nous ne pûmes que lui répondre :

« Vos accidents sont bien singuliers, n'avez-vous jamais pensé à des oscillations du sol? En Espagne, dans la partie sud que j'ai parcourue l'année dernière, on a établi un système d'observations qui a permis de constater vingt-trois secousses en une année. A Naples, lors d'une éruption du Vésuve sans tremblement de terre apparent, nos deux sondes ont été simultanément prisonnières : Au forage du Palais du Roi, et à celui de la Victoria. »

Les puits de Saïda et de Solthans avaient été réparés et avaient repris leur écoulement depuis plusieurs mois; leur débit était régulier, et tout faisait supposer que leur régime était établi, lorsque nous reçûmes la lettre suivante de M. Jus, accompagnant son rapport hebdomadaire des travaux.

Sondage d'El-Anatt, 13 juin 1863.

« Il vient de se passer dans le Hodna un fait météorologique dont je m'empresse de vous rendre compte.

« La journée du 10 juin avait été insupportable, la température était de 37° à midi par un vent d'ouest, et l'atmosphère chargée au point qu'il était difficile de respirer.

« Vers cinq heures du soir le vent a cessé, et tout laissait à présumer que nous aurions une nuit tranquille, lorsqu'à onze heures du soir un ouragan terrible s'est

élevé dans la plaine. Le vent d'ouest soufflait avec une telle violence qu'il lançait dans le vide des cailloux aussi gros que des noix; le ciel était en feu au nord, le tonnerre grondait, toutes les tentes arabes étaient par terre déchirées en morceaux, et les femmes jetaient des cris de frayeur croyant à la fin du monde. L'eau de la source d'El-Anatt avait 26° à 27° au moins[1]; dans les réservoirs elle a conservé cette température pendant tout le temps de l'ouragan. Quant à nous, nous étions cramponnés à la chèvre et aux tentes qui étaient restées debout. A minuit le vent était tellement fort que j'ai pensé pour un moment à ce que nous allions devenir, lorsque tout à coup une violente secousse (je n'ose dire de tremblement de terre, cependant c'est bien le mot que je devrais employer) a apaisé la tempête comme par enchantement. De mémoire d'indigène on n'avait jamais vu pareil phénomène.

« Le 11, mon premier soin fut de prendre des nouvelles de nos puits, et voici les résultats que l'on m'a rapportés.

« Aïn Kelba. La cave s'est affaissée pendant l'ouragan, l'eau a cessé de couler et a repris son cours primitif, les arbres ont été déracinés.

« Saïda s'est arrêté entièrement la nuit du 10.

« Solthans (le dernier puits) a cessé de couler la nuit du 10, a repris son cours le 11, et a disparu de nouveau.

« J'ai organisé de suite une petite chèvre que j'ai installée sur le puits de Solthans, la soupape descendue m'a donné l'explication suivante de l'arrêt de l'eau :

« Les tuyaux neufs d'ascension sont encore broyés à 71 mètres (même profondeur qu'à Saïda), et les terrains bouchent le passage de la source.

« Il y a vraiment de quoi être découragé; je sais bien qu'il n'y a nullement de notre faute, cependant c'est bien malheureux de voir un travail qui m'a donné tant de misères être détruit par des causes inconnues.

« Pour mon compte j'avoue que je n'y comprends plus rien.

« Signé : JUS. »

Ici les effets du sol ont été sensibles, et on ne peut guère mettre en doute leur influence sur les couches aquifères. La secousse de tremblement de terre dans le Hodna ne se trouve-t-elle pas confirmée par celles qui, les jours suivants, sont venues agiter si vigoureusement le sol de l'Espagne méridionale.

Jusqu'à présent ces singuliers phénomènes ne se produisent que dans cette localité, tous les autres puits restent dans les conditions régulières d'un écoulement constant.

Ces faits m'ont paru avoir assez d'intérêt pour la science, et je me suis hâté de les porter à la connaissance de l'Académie, dont l'un des illustres secrétaires, M. Élie de Beaumont, s'occupe spécialement des lois qui régissent les mouvements de l'écorce terrestre.

Depuis l'envoi de ma note, j'ai eu l'avantage de rencontrer M. Hervé Mangon. Pendant quelque temps cet ingénieur a fait une suite d'expériences sur les eaux du puits de Passy.

Chaque jour il filtrait les eaux et pesait le résidu sableux et argileux. Ces résidus, pesés jour par jour, lui ont permis de tracer une courbe. Puis ayant demandé à Naples et à Nice le résultat des observations sur les secousses du sol, il a reconnu

1. La température normale des eaux artésiennes obtenues dans le Hodna varie entre 21 et 23°,2.

que les courbes tracées d'après ces données avaient la plus grande similitude avec celle qu'il avait obtenue avec les dépôts de Passy. C'est-à-dire qu'une secousse observée à Naples amenait quelques heures après un trouble dans les eaux artésiennes.

Séance du 4 Septembre 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce que MM. Molinos, Armengaud aîné, Hamoir et Castel, viennent d'être nommés chevaliers de la Légion d'honneur, et que M. Beaucerf a été décoré de l'ordre de saint Maurice et Lazare.

M. COURTÉPÉE donne communication de l'analyse qu'il avait été chargé de faire d'une Note de M. Boudard aîné sur *une méthode de traitement de résidus cuivreux provenant des fabriques de nickel.*

En Piémont, dans la vallée de la Sésia, se trouve un gisement de pyrite blanche magnétique, contenant:

Nickel.....	5 p. 100
Cuivre.....	1,5

accompagnés de fer, de soufre et d'une gangue terreuse.

Ces pyrites sont grillées en tas à la mine, puis fondues au four à manche, où elles donnent une matte qu'on broie et qu'on grille de nouveau dans un four à réverbère semblable aux fours employés dans les usines du pays de Galles, pour le grillage des pyrites cuivreuses.

Après ce dernier grillage, la pyrite blanche est devenue une matte enrichie, contenant:

Nickel.....	40 p. 100
Cuivre.....	12

Cette matte est expédiée en Belgique, attaquée, dans une usine de Liége, par l'acide chlorhydrique, et dans la dissolution du chlorure de cuivre et de nickel on précipite le cuivre par le fer.

Le précipité cuivreux est lavé, séché et embarillé; c'est ce cuivre de cémentation que M. Boudard a traité, et la méthode de traitement qu'il a employée est le sujet de la Note qu'il a présentée à la Société.

Le produit de la cémentation est composé de:

Cuivre métallique en poudre.....	51.46	69.58
Oxyde de cuivre 22,55 ou cuivre.....	18.12	
— et oxygène....	4.53	
Peroxyde de fer.....	13.00	
Oxyde de nickel.....	6.86	
— de plomb.....	1.00	30.42
Acide arsénique.....	0.70	
Acide sulfurique.....	2.03	
Sable.....	2.30	
	100.00	

M. Boudard devait, pour les besoins de l'usine qu'il dirige à Dangu (Eure), s'at-

tacher à produire de premier jet le plus de cuivre possible propre au laminage; il devait donc éviter tout procédé qui n'eût donné que du cuivre allié au nickel. L'état pulvérulent du cuivre précipité par le fer ne permettait pas de le faire passer au four à manche, où le vent des tuyères l'aurait entraîné dans la cheminée, ni de l'exposer sur la sole d'un four à réverbère à l'action oxydante des gaz du foyer.

M. Boudard a résolu assez heureusement cette difficulté.

Dans un four à réverbère servant ordinairement à l'affinage du cuivre, il a fait fondre d'abord 1000 kil. de rognures de cuivre provenant de ses laminoirs et ensuite 400 kil. de scories pauvres, formées principalement de silicates d'alumine et de fer, et dans ce bain de cuivre recouvert de scories fondues, il a chargé la matière cuivreuse par charges de 300 kil. additionnées chacune de 20 kil. de spath-fluor. Aussitôt versée dans le four, la charge a été brassée avec le bain en fusion qui l'a empâtée, l'a protégée contre l'action des gaz oxydants et a favorisé la fusion du cuivre métallique très-divisé. Ce cuivre s'est ajouté à celui du bain, et les oxydes de cuivre, de nickel, de fer, etc., sont restés dans la scorie très-liquide recouvrant le bain.

On a extrait ainsi, par une simple fusion au four à réverbère, la plus grande partie du cuivre contenu à l'état métallique dans les résidus à traiter.

Mais pendant l'opération les parois verticales du four ont été rongées de $0^m,20$ tout autour au niveau du bain. Cet inconvénient avait été reconnu même pendant la durée du travail, et on avait tenté d'y remédier en ajoutant aux charges une certaine quantité de terre réfractaire. Mais cette addition n'a produit qu'un mauvais résultat, la terre a empâté la scorie, en préservant très-peu le four. M. Boudard pense que cet inconvénient provenait de ce que la terre réfractaire employée renfermait un grand excès de silice, tandis que la scorie dans le four lui paraissait plutôt avide d'alumine.

M. Courtépée ne partage pas ici l'opinion de M. Boudard; il pense, au contraire, que l'alumine était moins nécessaire que la silice. Les résidus cuivreux à traiter ne contiennent que 2,3 de sable et tiennent au contraire 13 p. 100 de peroxyde de fer qui, sans avoir égard à 7 ou 8 p. 100 d'oxydes de nickel et de plomb, exigeraient seuls, pour leur saturation et pour former un silicate de fer ($Fe^2O^3, 3SiO^3$), une addition d'environ 22 parties de silice.

Dans sa pratique personnelle, M. Courtépée a traité des pyrites cuivreuses, et pour que l'excès de peroxyde de fer contenu dans les mattes qu'il obtenait ne dévorât pas les briques de ses fours, il ajoutait aux charges de mattes une proportion de sable quartzeux chimiquement équivalente à la quantité de fer à scorifier, et les parois de ses fours étaient suffisamment protégées par cette addition contre l'action corrosive du bain.

Après la fusion au four à réverbère, le but principal que M. Boudard s'était proposé était atteint : il avait extrait des résidus à traiter la plus grande partie de leur cuivre métallique, et le métal obtenu était complétement exempt de nickel et de fer, et excellent au laminage. Il ne lui restait plus pour compléter son traitement qu'à refondre ses scories, qui contenaient alors des oxydes de cuivre, de nickel, de plomb, de fer, et de la silice.

Ces scories ont été passées au four à manche par charges composées en volume de :

9	parties de coke
11	parties de scories à refondre,
5	parties de castine,
25	parties.

Le coke était celui qu'on emploie dans les hauts fourneaux, la castine était une marne blanche très-tendre; sa chaux a saturé la silice de la scorie à traiter, en déplaçant les oxydes de cuivre et de nickel, qui, mis en liberté, ont été réduits à l'état métallique sous l'influence des oxydants des agents réducteurs.

L'alliage obtenu dans le creuset du four à manche était composé de :

Cuivre rouge.....	90.60
Nickel.....	8.90
Fer.....	0.50
	100.00

Pour éliminer cette petite proportion de fer qu'il contenait, on l'a refondu au creuset dans un four à air et on l'a coulé en lingots qui ont été livrés aux fabricants de maillechort de Paris.

En résumé, la méthode de traitement des résidus cuivreux suivie par M. Boudard présente d'abord un moyen simple et rapide d'en extraire de premier jet la plus grande partie du cuivre qui s'y trouve à l'état métallique, et ensuite celui d'obtenir dans un alliage utile à l'industrie le nickel et le reste du cuivre contenus dans les résidus à traiter.

Cette méthode offre un certain intérêt métallurgique dans le cas général du traitement des résidus des usines.

M. Mathieu lit une note sur la fabrication des briquettes par la machine Jarlot.

La compagnie du chemin de fer du Midi emploie, pour fabriquer les briquettes, la machine Jarlot, construite par M. Voruz, à Nantes.

Cette machine est très-simple, et sa supériorité sur toutes celles qu'il a vues consiste dans ce qu'elle n'a ni piston, ni ressorts, ni aucun organe susceptible d'être dérangé en marchant. Elle est d'un prix peu élevé, le montage en est facile et peu dispendieux, enfin elle n'exige pas une grande puissance motrice; ce sont des motifs qui l'ont fait préférer, pour les chemins de fer, à tous les autres systèmes.

Elle se compose essentiellement de deux tambours cylindriques de même diamètre montés sur deux axes parallèles horizontaux.

Ces deux tambours sont à peu près tangentiels. La jante de chacun est formée de vides et de pleins égaux, distribués sur toute la circonférence, comme le serait une jante de roue d'engrenage disposée pour recevoir des dents en bois; le plein de l'un des tambours correspond au vide de l'autre.

Ces deux tambours sont mis en mouvement par des engrenages, de façon à tourner l'un sur l'autre.

La matière à agglomérer descend entre les deux tambours et y est conduite par une trémie. Le mouvement de rotation imprimé aux deux tambours entraîne la matière et la fait pénétrer dans les vides ménagés à la circonférence; elle y est, en outre, poussée par les pleins correspondants, qui font l'office de pistons.

Une faible conicité donnée au vide dans lequel la briquette est moulée, suffit pour déterminer une résistance convenable, et pour obtenir une pression très-énergique; en effet, la briquette moulée sort au fur et à mesure de la rotation avec une dureté suffisante pour être immédiatement chargée en wagon et expédiée aux dépôts.

Les briquettes ainsi fabriquées se composent de 92 p. 100 de menu de houille et

de 8 p. 100 de matière agglomérante. Cette matière agglomérante se compose elle-même de :

60 p. 100 de brai ;
40 p. 100 de goudron.

Le mouvement est continu et, à chaque révolution des tambours, correspond un avancement de la briquette égal à un centimètre. Lorsque la briquette a atteint la longueur de 10 à 12 centimètres environ, on approche de chaque tambour, un peu au-dessous de la jante, un couteau qui, en une seule révolution, coupe et détache toutes les briquettes fabriquées.

L'appareil est généralement double, c'est-à-dire que chaque axe porte deux tambours. Chaque groupe peut facilement produire, en dix heures, 25 tonnes de briquettes, ce qui fait 50 tonnes pour l'appareil complet.

Les opérations qui consistent à préparer la matière, à la mélanger avec le brai, etc., sont encore très-imparfaites au chemin de fer du Midi ; il sera très-facile de les améliorer, c'est une question de temps et d'argent.

Les dimensions de la matrice dans laquelle se forme la briquette sont les suivantes :

Longueur.....	165 m/m
Largeur dans le sens circulaire, à la partie supérieure.	75
— à 65 m/m de la partie supérieure.....	67
— à la partie inférieure.....	67
Conicité : 75 — 67 = ...	8
La largeur dans la partie transversale est de.....	180

(Dans ce sens, il n'y a pas de conicité.)

La machine pèse 8,500 kil. La redevance pour droits de brevets est de 0,15 cent. par tonne de briquettes confectionnées.

Le prix de revient de la fabrication est de (comprenant goudron et main-d'œuvre) 6 fr. 50 cent. par tonne, matière du charbon non comprise.

M. Mathieu estime qu'il faut 25 à 30 chevaux pour conduire la machine à la vitesse normale ; la quantité du charbon qui tombe entre les deux cylindres en échappant à leur action est très-faible.

M. Baüll fait remarquer que la quantité de matière agglomérante (8 p. 100) paraît élevée et doit conduire à une augmentation du prix de revient.

M. Mathieu répond que la proportion de matière agglomérante lui paraît indépendante du système de la machine ; elle est motivée, au chemin du Midi, par la nature du combustible ; ce sont des menus de charbon maigre de Cardiff qui sont restés longtemps exposés à l'air ; d'ailleurs, on emploie également 8 p. 100 de matière agglomérante au chemin de fer de Lyon, pour le traitement des houilles de Brassac.

M. Nozo demande quelle est la température donnée au mélange introduit dans la machine et les moyens employés pour cette préparation ; d'après les renseignements qui lui sont parvenus, on aurait été conduit à substituer au jet de vapeur introduit directement dans le mélange, un chauffage dans un cylindre à double enveloppe.

M. Mathieu n'a pas de renseignements positifs sur le mode de chauffage, qui lui paraît devoir varier avec la nature des matières traitées. Le menu qu'on agglomère au chemin du Midi n'est pas lavé, et les briquettes obtenues donnent seulement 5 à 6 pour 100 de cendres.

M. Petiet fait remarquer que cette faible proportion de cendres s'explique par la nature du menu, qui provient exclusivement du déchet du gros charbon et doit être beaucoup plus pur que celui qui est produit dans l'abatage à la mine.

M. le Président annonce que la Société a reçu un mémoire très-intéressant relatif à des expériences faites à l'usine de Saint-Mandé, sur l'écoulement des gaz en longues conduites. Ces expériences faites par M. Arson, sous la direction de M. Gayffier, modifient les résultats obtenus anciennement avec des conduites de faibles dimensions.

M. Darcy avait déjà trouvé que la perte de charge, dans les conduites d'eau, n'est pas indépendante de la nature des parois, comme on le supposait autrefois; en outre, le diamètre des conduites et le rayon moyen des canaux découverts exercent aussi une influence très-notable sur les lois de l'écoulement, de telle sorte que les pertes de charge dans les conduites de grand diamètre et les pentes superficielles des canaux de grande section sont moindres que celles indiquées par les anciennes formules. M. Arson a obtenu des résultats analogues pour le gaz; mais en ce qui concerne le gaz de l'éclairage, il y a cette circonstance particulière et favorable pour la simplicité des calculs, que toutes les conduites se recouvrent rapidement, en service, d'un enduit qui les rend identiques au point de vue de la résistance à l'écoulement. Les résultats des expériences déjà faites par M. Arson présentent un très-grand intérêt; mais comme ces expériences doivent être reprises sur une plus grande échelle (la longueur des conduites sera portée de 100 à 300 mètres et le diamètre à $0^m,50$), il conviendra d'attendre la publication du travail complémentaire pour mettre l'ensemble de la communication à l'ordre du jour de la Société. M. le Président doit, d'ailleurs, profiter de l'obligeance des fonctionnaires de la compagnie du gaz, pour faire des recherches expérimentales sur l'influence des étranglements.

M. le Président ajoute que les faits observés par M. Darcy sur l'écoulement des liquides et qui se reproduisent pour les gaz, comme le montre le mémoire de M. Arson, s'expliquent facilement et pouvaient même être prévus. Les aspérités que présentent les parois des conduites doivent, en effet, produire des pertes de charges, des remous analogues à ceux que déterminent, dans les grands cours d'eau, les ouvrages ou épis destinés à la défense des berges; on comprend alors que les pertes de force vive ou de travail moteur sont d'autant plus grandes que les parois des conduites sont moins unies, et d'une autre part l'influence des aspérités est d'autant moins sensible que le rayon des tuyaux ou le rayon moyen des canaux est plus considérable. La formule de la résistance des parois doit donc, comme l'ont trouvé MM. Darcy et Bazin, contenir un facteur qui diminue quand ce rayon augmente, et dont les coefficients numériques varient avec la nature des parois.

MM. Evans, Arnauld, Marin et de Richemont ont été reçus membres de la Société.

NOTE

SUR UN SYSTÈME DE BAGUES EN FONTE

appliqué à la voie Vignole,

PAR M. **DESBRIÈRE.**

L'objet de cette note est de soumettre à l'appréciation de la Société un perfectionnement au système de pose de la voie Vignole, dont l'application vient d'être faite sur une échelle assez étendue pour que les résultats puissent en être invoqués avec une certaine confiance.

Tout le monde sait que, dans le système de voie dit Vignole, le patin du rail est en contact immédiat avec la traverse, noyé dans une entaille, à fond incliné, et qu'il y est fixé au moyen de crampons de diverses formes, de tire-fonds ou même de boulons (ce dernier système n'a guère été employé qu'en Allemagne). La pratique la plus générale en France réside dans l'emploi des crampons prismatiques à section rectangulaire, munis d'une tête qui s'appuie sur le patin du rail (voir les fig. 11 et 12), et d'oreilles qui servent à l'extraction du crampon quand on a besoin de déposer le rail. On se sert, dans ce cas, d'un levier à fourche nommé pied-de-biche, dont le talon appuie sur le bois et dont les branches soulèvent le crampon par les oreilles. Depuis quelque temps, les compagnies du Nord et de l'Est substituent au crampon le tire-fond à tête hexagonale qui s'enfonce à l'aide d'une clef à douille, et dont la tête s'appuie comme celle du crampon sur le patin du rail. Ces tire-fonds s'enlèvent également à la clef et se resserrent à volonté lorsqu'un certain relâchement se produit dans la voie.

Nous n'entendons pas faire, d'une manière absolue, la critique de ces deux modes d'attache; il est certain qu'employés avec des *traverses en bois dur* (chêne ou hêtre préparé), dont les entailles sont faites avec précision par procédés mécaniques, de manière à ne laisser aucune mobilité, aucun jeu dans le sens horizontal, et à bien s'appliquer sous le patin du rail, avec un bon éclissage, et sur des lignes à profil peu accidenté, ces deux moyens sont très-suffisants et ne prêtent à aucune critique sérieuse. La traverse commence généralement à succomber à la pourriture

avant que les attaches du rail aient subi un ébranlement fâcheux. Constatons seulement ce fait, qu'elles exigent, pour être efficaces, la condition *absolue* des traverses *en bois dur*, dont le prix varie aujourd'hui de 6 à 8 fr. la pièce, suivant la distance des lieux d'approvisionnement et les dimensions des traverses, et tend toujours à s'élever.

Notre but a donc été de trouver un système d'attaches qui permît d'abord d'affranchir les grandes lignes de l'obligation, tous les jours plus onéreuse, d'employer les traverses en bois dur, et qui permît, de plus, aux lignes secondaires, à profil tourmenté et pour lesquelles l'économie est une condition impérieuse, de recourir au rail Vignole et aux traverses en bois tendres, sans compromettre la durée et le bon état de leurs voies. L'expérience a, en effet, démontré que les crampons, comme les tire-fonds, deviennent, alors, véritablement insuffisants. Il est indispensable, pour se rendre un compte exact de l'utilité que peut présenter le système que nous proposons, de bien analyser les inconvénients qui se présentent en pareil cas.

Le rail Vignole est soumis à deux genres d'efforts : 1° actions verticales résultant du passage des roues des véhicules sur la surface de roulement; 2° actions horizontales, lesquelles se produisent presque exclusivement dans les courbes. On peut détailler ainsi ce dernier genre d'actions : d'abord, le choc ou la pression des boudins sur les faces latérales du champignon; ensuite, l'élasticité du métal qui tend à ramener les rails courbés à la forme rectiligne; cette tendance est très-énergique dans le rail Vignole à cause de la largeur de son patin; elle se trouve, du reste, aggravée par l'effort de coinçage que les machines et les véhicules à grand écartement d'essieux exercent sur la voie dans les courbes, et qui se traduit également par une tendance à la rectification des rails. En dernier lieu, vient la tendance des rails à glisser longitudinalement dans le sens de la marche des trains sur les parties en palier et sur les pentes faibles, et dans le sens de l'inclinaison sur les fortes pentes. Cet effet d'entraînement est très-prononcé et est dû à un concours de causes dont l'analyse nous mènerait trop loin[1].

Actions verticales. — Il semble, au premier abord, que les efforts verticaux doivent rester sans action sur les attaches du rail, puisqu'ils s'exercent de haut en bas. Mais il faut observer que sous ces efforts les rails éprouvent des flexions et des redressements alternatifs, et qu'à la longue les traverses finissent par tasser et prendre du jeu dans le ballast. Si faibles que soient d'abord ce tassement et ce jeu, on comprend qu'à chaque passage de roue, le rail, d'abord fléchi, se redressant ensuite, tend à se séparer de la traverse dont le niveau a baissé, et, par consé-

1. Il est surtout prononcé aux abords des stations auxquelles on accède par de fortes pentes, parce que, dans ces points, l'enrayage des roues par les freins occasionne un frottement de glissement beaucoup plus énergique que le frottement de roulement.

quent, à soulever les attaches qui le relient à celle-ci. Cette réaction indirecte du rail sur les attaches n'a ordinairement qu'une étendue limitée, parce que l'entretien de la voie, pourvu qu'il soit bien fait, peut remédier promptement au tassement des traverses par le bourrage du ballast; mais si l'on fait attention que le bras de levier avec lequel s'exerce la réaction verticale est la demi-portée du rail; que le bras de levier avec lequel résistent les attaches est la demi-largeur de la traverse, et que le rapport de ces bras de levier est en moyenne : : 4 : 1, on verra que la réaction due à la flexion du rail est presque invincible, c'est-à-dire qu'il faudrait donner aux attaches du rail une solidité et des dimensions hors de proportion avec celles du rail lui-même et de la traverse, pour la combattre avec efficacité.

Soit *abc* (fig. 1, Pl. 29) un rail reposant sur des traverses *a*, *c*, etc., et soumis à des charges 2P au milieu de chaque portée. Si l'on cherche la réaction Q, qui a lieu au point *a*, et qui tend conséquemment à arracher le crampon, on trouve, en supposant le rail rectiligne entre *a* et *b*, et en le considérant comme un levier dont le point fixe serait en *d*, $Q = P \times \frac{db}{da}$ (*);

or, on a généralement P = 3500 kilogr. (correspondant à 14 tonnes de charge sur un essieu de machine).

$$db = 0^m,45,\ da = 0^m,11;\ \text{d'où}\ Q = 14,000\ \text{kilogr.}$$

Il est facile de s'assurer qu'aucune forme de vis ou de crampons ne peut résister à un pareil effort.

En effet, si l'on considère un tire-fond à filet composé de deux quarts de cercle adossés (ce qui est le profil le plus généralement usité), on fera évidemment une hypothèse favorable en admettant que la résistance à un effort longitudinal tendant à arracher le tire-fond soit mesurée par la résistance à l'écrasement de la surface du bois en contact avec la surface supérieure de tous les filets du tire-fond. (Pour procéder rigoureusement, on ne devrait compter que la projection de cette surface sur le plan horizontal perpendiculaire à l'axe du tire-fond.) Quoi qu'il en soit, si l'on suppose au tire-fond un diamètre extérieur au filet de $17^m/_m$, $12^m/_m$ au corps, $6^m/_m$ de pas, et 15 filets, soit 90 millimètres de longueur en prise dans le bois; si l'on admet $2^m,5$ comme rayon du 1/4 de cercle, on trouve que la surface de bois intéressée dans chaque spire est d'environ 150 millimètres carrés, soit $2,250^m/_m$ pour le tire-fond entier. D'après les expé-

(*) Il arrive toujours que le bord de la traverse s'écrase et reporte en arrière le point fixe *d*; mais il est facile de voir que cet effet, ayant pour résultat de diminuer *da*, ne tend qu'à augmenter l'effort Q.

Dans le calcul de l'effort Q, nous ne tenons pas compte des forces élastiques développées par la flexion, et qui évidemment n'interviennent pas pour l'équilibre des couples déterminés par les forces extérieures.

riences de M. Hodgkinson, les résistances à l'écrasement des principaux bois sont par $^{m}/_{m}$ carré les suivantes :

Chêne anglais.	$7^{k},07$
Pin résineux.	4 ,77
Sapin.	4 ,63
Peuplier.	3 ,60

On en conclut pour les résistances à l'arrachement du tire-fond dans les mêmes bois, les nombres suivants :

Dans le chêne.	$15,750^{k}$
— le pin.	10,575
— le sapin.	10,417
— le peuplier.	8,100

La tendance au soulèvement étant, d'après les calculs antérieurs, de 14,000 kil. environ, et notre mode d'évaluation pour la résistance à l'arrachement du tire-fond étant exagéré, on voit qu'avec le chêne de première qualité, le bois travaille à peu près à sa limite de résistance, ce qui est inadmissible, et que le pin, le sapin et le peuplier sont loin de présenter la résistance nécessaire[1]. On pourrait, il est vrai, accroître un peu le diamètre du tire-fond (quant à sa longueur, on ne peut dépasser celle que nous avons supposée, à moins d'exagérer l'équarrissage des traverses); mais cet accroissement ne changerait pas notablement les conditions de résistance; il faut d'ailleurs remarquer que notre évaluation de la tendance à l'arrachement est très-modérée : elle suppose 14 tonnes de charge sur les essieux les plus chargés; or, tout le monde sait qu'en service, et par suite du déréglement des ressorts, par suite aussi des inégalités de la voie, de l'usure du matériel et des chocs qui en résultent, cette pression est très-souvent dépassée. La recherche d'un moyen d'attaches capable d'assurer l'invariable application du rail sur la traverse est donc un problème insoluble, du moins par les moyens dont nous disposons jusqu'ici.

Aussi, lorsqu'on observe avec attention les attaches d'une voie Vignole en service, on voit qu'aucune des têtes de crampons ou de tire-fonds ne s'applique rigoureusement sur le patin du rail, malgré le soin qu'on a pu y apporter à la pose (on peut s'en assurer aisément en essayant d'introduire une feuille mince de carton ou de tôle entre le patin et la tête du crampon); il y aurait, du reste, peu d'intérêt à empêcher absolument

1. On a objecté à ce fait, attesté par l'expérience et expliqué par le calcul, de l'écrasement des fibres du bois par les filets du tire-fond, que le soulèvement du rail ne pouvant avoir qu'une étendue très-limitée, la destruction du bois était également limitée et que la stabilité du tire-fond n'en souffrirait pas sensiblement; mais alors de deux choses l'une : ou l'on resserre le tire-fond à la clef et l'effet d'écrasement se reproduit indéfiniment jusqu'à destruction entière du bois, ou bien on ne resserre pas le tire-fond, et alors à quoi sert-il?

cette séparation du rail et de la traverse, car le tassement inégal du ballast sous les traverses étant, dans tous les cas, à peu près inévitable, les traverses les plus tassées, au lieu de se séparer du rail, se trouveraient alors suspendues au-dessus du ballast sous-jacent, et la dislocation de la voie dans ces conditions, sous le passage des véhicules, n'en serait peut-être pas moins à redouter. Cet effet de séparation entre la tête du crampon et le patin du rail ne tient pas seulement au soulèvement du tire-fond : l'écrasement du bois sous le patin du rail y contribue aussi dans une forte proportion; les vibrations de la voie sont de même, indépendamment de la réaction verticale au moment de la flexion du rail, une cause active de soulèvement. Mais il est indubitable que, ces causes secondaires étant éliminées, la flexion du rail suffirait encore à expliquer le phénomène.

Actions horizontales. — Les efforts horizontaux, quelle qu'en soit l'origine, ont un mode d'action tout différent et qu'il importe d'analyser parce qu'on leur attribue souvent des effets bien éloignés de ceux qu'ils tendent réellement à produire. On considère, en effet, généralement l'action horizontale et transversale des boudins comme tendant à amener le renversement du rail, et conséquemment à arracher les crampons du côté intérieur de la voie. Cette opinion est complétement erronée, et il est bien facile de s'en rendre compte. D'abord, si l'on examine attentivement, comme on l'a dit plus haut, les crampons d'une voie Vignole, on reconnaît bientôt que ceux du dehors sont aussi relâchés que ceux de l'intérieur de la voie (ce qui, d'ailleurs, s'accorde parfaitement avec l'explication qui attribue cet effet à la réaction verticale). Mais, de plus, n'est-il pas évident que si cette tendance au renversement existait à un point assez fort pour amener le soulèvement du crampon, une fois ce premier effet produit, elle ne s'en tiendrait pas là; et que le renversement complet du rail vers l'extérieur ne tarderait pas à se produire? Or, c'est ce qui n'a *jamais* été observé même avec les rails les plus élancés et les patins les plus étroits[1]. Il faut donc forcément admettre que la résultante des actions horizontales et verticales auxquelles sont soumis les rails Vignole ne tombe jamais en dehors de la surface d'appui du rail sur la traverse, et ne tend conséquemment à produire aucun renversement.

Du rapprochement de ces deux faits attestés par la pratique la plus étendue, à savoir : 1° que les têtes de crampons ou de tire-fonds n'appuient jamais sur le patin; 2° que les rails, même les plus élancés, n'ont jamais éprouvé de renversement, on est amené à conclure logiquement que la tête du crampon est sans utilité, du moins comme moyen de fixation du rail sur la traverse; sa seule utilité pratique est de donner la

1. Dans le nombre il convient de citer le rail de Camden à Amboy (Amérique), dont le patin a $0^m,119$ de largeur et dont la hauteur est de $0^m,182$.

garantie que la traverse la plus tassée ne pourra jamais se séparer du rail au point de le laisser sortir de l'entaille de sabotage, ce qui pourrait arriver si l'on se servait de crampons sans tête : elle donne, de plus, une limite à l'enfoncement du crampon qui pourrait sans cela être poussé trop loin, et permettre, par suite, la sortie du rail hors de l'entaille, la partie supérieure du crampon pouvant alors arriver à effleurer le dessous du patin. Mais, en dehors de cette éventualité, du reste bien peu à craindre sur les voies même les moins bien entretenues, on est fondé à conclure de l'observation des faits, que la tête des crampons est une disposition à peu près sans objet, et que s'il était possible en pratique de clouer le rail avec des crampons *sans tête*, dont l'extrémité supérieure ne pourrait jamais descendre au-dessous du patin du rail, les conditions de service de la voie ne seraient pas sensiblement altérées par cette disposition.

En résumé, le but auquel peut et doit prétendre un système d'attaches bien étudié, est de supprimer tout glissement longitudinal ou transversal du rail sur la traverse. Quant au soulèvement vertical du rail, il est impossible, et du reste sans intérêt, de le supprimer entièrement, le déversement du rail vers l'extérieur n'étant jamais à craindre : la seule difficulté à vaincre, et elle présente un haut intérêt, est de conserver invariables : 1° l'écartement des rails des deux côtés de la voie (ou calibre de la voie), et 2° l'écartement dans les joints des rails qui se suivent d'un même côté. On sait, en effet, que la variation du calibre de la voie donne au matériel roulant des mouvements de lacet désagréables aux voyageurs et ruineux pour le matériel, et peut même amener des déraillements à l'intérieur; d'autre part, l'entraînement des rails et le resserrement des joints qu'il occasionne peuvent, à l'époque des chaleurs qui dilatent les rails, provoquer le gondolement et le déplacement de la voie, et même des déraillements redoutables; car cet effet se produit de préférence au pied des fortes rampes, c'est-à-dire dans les points où la vitesse des trains, toutes choses égales d'ailleurs, est la plus considérable. Nous ne parlerons pas de l'ouverture des joints qui sera toujours facilement prévenue par l'éclissage.

L'analyse que nous venons de faire des conditions auxquelles doit satisfaire un bon système d'attaches montre d'avance en quoi pèchent le crampon et le tire-fond, surtout lorsque les traverses sont en bois tendre, les courbes prononcées et les pentes fortes. Sous l'action des efforts transversaux, les crampons extérieurs, principalement aux joints et dans les courbes, écrasent les fibres du bois placées derrière eux, et alors l'adhérence du bois sur leur surface extérieure se trouve assez réduite pour que le moindre effort vertical détermine leur soulèvement ; en même temps les bords du patin, n'étant plus retenus dans le sens transversal par les crampons, écrasent les bords de l'entaille de sabotage, et y prennent assez de jeu pour que le calibre de la voie en soit

sensiblement altéré, notamment dans les joints, où se produisent alors des jarrets prononcés. Quand cette liberté laissée au rail dans l'entaille atteint une certaine limite, elle peut avoir pour conséquence indirecte de laisser le rail céder à l'effort d'entraînement longitudinal, produit par la marche des trains. En effet, le moyen employé généralement pour arrêter cet entraînement consiste à faire passer les deux crampons d'une ou deux traverses par longueur de rail dans deux encoches ménagées sur les bords du patin : or, il peut arriver, dans des courbes prononcées coïncidant avec de fortes pentes, que le bord de l'entaille, s'arrondissant à la longue, laisse échapper le crampon refoulé dans le bois par le patin, et que les rails alors obéissent librement au mouvement longitudinal qui tend à les déplacer par rapport aux traverses.

Même en mettant de côté ces accidents qui ne se produisent d'une manière aussi accusée que dans des cas rares, il est hors de doute que la voie Vignole, employée avec des traverses en bois tendre, des courbes prononcées et de fortes pentes (toutes conditions auxquelles on doit s'attendre pour les nouvelles lignes à construire), présente des inconvénients sérieux; et que ce sont eux, en grande partie, qui l'ont empêchée d'être adoptée par plusieurs des compagnies françaises. On doit ajouter que tous ces inconvénients pouvaient être prévus, quand on se rappelle que la nécessité d'établir une liaison tout à fait invariable entre les deux rails d'une même voie est une loi fondamentale démontrée par l'expérience, et à laquelle sont dus le triomphe définitif et général des supports transversaux, l'insuccès définitif également des supports longitudinaux (dés en pierre, cloches et plateaux, longrines, etc.).

Moyens employés en Allemagne pour améliorer le service des crampons. — Plaques de joint et selles d'arrêt. — Préoccupés de ces inconvénients, les ingénieurs allemands se sont efforcés de les atténuer. Les moyens dont ils se servent ont été peu goûtés en France; ces procédés sont, comme on sait, les plaques de joint et selles d'arrêt, qu'ils placent sous le rail au droit des joints et des encoches. Les deux crampons situés de part et d'autre du rail, se trouvant alors liés entre eux par l'intermédiaire de ces plaques, travaillent ensemble, et, par suite, la pénétration de chacun d'eux dans les fibres du bois et l'élargissement de leurs trous sont sensiblement retardés, parce que la surface résistante du bois se trouve ainsi doublée. Les crampons des encoches, étant solidaires, retiennent d'ailleurs le rail efficacement, et ne peuvent le laisser échapper dans le sens longitudinal. Mais, relativement au déplacement transversal du rail, ces moyens ne sont que des palliatifs; en effet, d'abord l'accroissement de la surface résistante du bois n'est pas suffisante avec les bois tendres; en second lieu, le jeu qu'on ne peut éviter dans les trous de la plaque fait que les deux crampons de côtés opposés ne travaillent pas ensemble : ils n'y arrivent que lorsque ce jeu a disparu par suite de

l'écrasement du bois, c'est-à-dire quand l'effet que l'on redoute s'est déjà produit dans une certaine mesure; de plus, l'emploi de ces plaques prive du soutien que donne le bord de l'entaille de sabotage au bord du patin du rail. Le sabotage est, du reste, rendu plus difficile et entame la traverse sur une étendue et une profondeur exagérées. Enfin, n'étant fixée ni au rail ni à la traverse d'une manière invariable, la plaque reste libre de ballotter entre eux et donne lieu au claquement ou martelage, inconvénient des plus fâcheux puisque le rail repose sur une surface métallique. La réaction violente qui en résulte sur la surface de roulement aux extrémités des rails, accélère la fatigue et l'usure de ces extrémités, points, comme chacun sait, les plus exposés à la destruction. On transforme ainsi en défaut grave l'un des principaux avantages de la voie Vignole sur la voie ordinaire à coussinets, celui de donner au rail le bois pour surface directe d'appui. Les ingénieurs allemands y voient, il est vrai, l'avantage de préserver la traverse de joint de la pénétration des bouts de rail; mais avec un bon éclissage c'est là une précaution tout à fait inutile d'après les résultats d'une expérience prolongée. Pour le dire en passant, il faut se rappeler que l'emploi de la plaque de joint, dans la voie Vignole, a précédé de longtemps en Allemagne l'introduction de l'éclissage. La plaque de joint était à cette époque indispensable pour préserver les traverses de joint contre la pénétration des bouts de rails qui, indépendants l'un de l'autre, concentraient successivement sur leur faible surface d'appui les pressions et les chocs qui leur étaient transmis. Mais, depuis l'invention de l'éclisse, la plaque de joint a perdu sa raison d'être au point de vue de la conservation des traverses de joint. Cependant, elle a continué à être préconisée par beaucoup de personnes restées sous l'empire des idées qui avaient cours avant l'introduction de l'éclissage, et dont la justesse à cette époque n'était pas contestable.

On peut se demander comment il se fait que les effets si prononcés de pénétration des bois par les attaches du rail ne se présentent pas au même degré avec la voie à coussinets. Les raisons à invoquer sont nombreuses. D'abord, les deux chevillettes ou les deux tire-fonds d'un coussinet se secourent mutuellement par l'intermédiaire du coussinet où ils sont introduits sans jeu. Étant d'ailleurs maintenus dans une position bien verticale par l'épaisseur toujours assez forte du patin, ils sont aussi moins exposés à céder aux efforts latéraux; mais la raison dominante est la présence du coin, qui, recevant directement tous les chocs et pressions auxquels le rail est exposé dans le sens latéral, sert de matelas compressible, et ne transmet aux attaches du coussinet que des réactions très-affaiblies. Il faut ajouter que le coussinet, soit intermédiaire, soit de joint, étant toujours saboté avec précision, et s'appuyant contre le bord de l'entaille par une large surface, est retenu par ce bord dans le sens latéral avec bien plus d'efficacité que ne l'est le rail Vignole, même quand il est employé avec la selle d'arrêt et la plaque de joint. Enfin le rail à

double champignon, ayant des dimensions horizontales moitié moindres de celles du rail Vignole, ne présente dans les courbes qu'une tendance beaucoup plus faible à se redresser et à donner une voie jarretée. Aussi observe-t-on que les courbes les plus roides se posent et s'entretiennent avec la plus grande facilité en rails à double champignon.

La voie à coussinets présente encore l'avantage que les chevillettes se soulèvent beaucoup moins que les crampons. On attribue généralement cet avantage à ce fait, que dans la voie Vignole la hauteur du rail étant à la largeur du patin dans un rapport environ double de celui qui existe entre la hauteur du rail ordinaire et la base du coussinet, la tendance au soulèvement de la *chevillette intérieure* du coussinet doit être double de celle qui a lieu pour le crampon intérieur du rail Vignole.

Les faits, comme nous l'avons dit plus haut, donnent le démenti le plus complet à ces raisonnements établis *à priori* et sans base sérieuse. Le *fait* est que le crampon extérieur se soulève aussi bien que l'intérieur, et que, dans la voie à coussinets, la chevillette intérieure, de son côté, ne se soulève pas plus que l'extérieure. Et l'explication de ce fait est que, par suite des phénomènes analysés tout à l'heure, les chevillettes d'un coussinet étant mieux garanties que les crampons contre les réactions horizontales, sont par là même moins exposées à se soulever hors du bois dont les fibres conservent toute leur adhérence : il arrive, de plus, que l'effet des flexions verticales et des vibrations ne se transmettant aux chevillettes que par l'intermédiaire du coin, celui-ci se détruit, ou au moins se desserre, sans que les chevillettes en souffrent autant que les crampons, sur lesquels l'effort de soulèvement transmis par le rail est appliqué directement, sans intermédiaires.

Quoi qu'il en soit, il y a là pour la voie Vignole une infériorité réelle relativement à la voie à coussinets, quand il s'agit des chemins à petites courbes et à traverses en bois tendres, comme le seront ceux du troisième et du quatrième réseau. Cette infériorité est-elle irrémédiable? Nous ne le pensons pas. Nous croyons seulement qu'il faut chercher le remède dans l'application de procédés de nature à arrêter l'ébranlement latéral des attaches, au lieu de chercher à lutter contre le soulèvement vertical, que l'expérience et le raisonnement s'accordent à faire considérer comme invincibles. Dans cet ordre d'idées, il semble que le tire-fond appliqué au rail Vignole ne doit pas présenter d'avantages sur le crampon; ne touchant le patin du rail que par une arête, il doit le maintenir moins efficacement : cette faible surface de contact s'use et s'écrase rapidement sous la pression continue du rail, ce qui contribue à rendre la mobilité de ce dernier plus facile. En outre, la pénétration du bois, à égalité de pression et de surface, doit être plus facile par une surface ronde que par une surface plane comme celle du crampon. Est-ce à ces différentes causes, ou à l'effet d'arrachement vertical décrit plus haut, qu'il faut attribuer cet échec? Toujours est-il que le tire-fond, longtemps appliqué

en Allemagne, a fini par y être repoussé universellement, et remplacé par le crampon à section uniforme, semblable à celui qui est généralement employé en France.

C'est donc, selon nous, au crampon qu'il faut s'en tenir, à la condition de l'approprier aux difficultés spéciales que comporte l'emploi des bois tendres. La bague en fonte, dont le dessin est donné (*fig.* 9), nous a paru répondre à l'objet que nous nous sommes proposé, et l'application qui en a été faite sur une ligne de 50 kilomètres[1] établie avec traverses en pin au sulfate de cuivre nous donne lieu de penser que nous ne nous sommes pas trompé. La pression du crampon sur le bois est évidemment concentrée en majeure partie dans la région voisine de la tête. Admettant, toutefois, que la surface entière de la partie postérieure du crampon reporte cette pression sur le bois, on voit par un calcul très-simple que l'emploi de la bague, avec les dimensions que nous lui avons données, double la surface d'appui et, par suite, la résistance du crampon à l'ébranlement.

Afin de vérifier cette conclusion du calcul, nous avons fait éprouver la résistance des crampons à l'aide d'une presse à caler les roues.

L'expérience a été faite dans les ateliers d'Alger et de la manière suivante (*fig.* 14) : deux bouts de traverses ont été appliqués plat contre plat, l'un sur l'autre, et les extrémités parfaitement arasées à la même distance des crampons. Le piston de la presse était appliqué contre le plan formé par ces deux sections extrêmes, de manière à pousser les deux traverses à la fois et dans le sens de leur longueur. Le collier de la presse à caler avait été placé de manière à embrasser sans les serrer les deux traverses ainsi disposées. Les crampons avaient été enfoncés dans les deux cas à la même profondeur que pour la fixation du rail, et l'effort de traction était transmis par une pièce de fer plat passant sous la tête des crampons, et s'appuyant contre le collier.

L'effort exercé se trouvait donc ainsi parfaitement assimilé à l'effort produit par le rail tendant à renverser le crampon en le faisant pénétrer dans le bois.

Les résultats obtenus ont été les suivants :

1° Pour les crampons enfoncés dans le *pin*, après le percement de l'avant-trou ordinaire, l'écrasement du bois a eu lieu derrière les crampons simultanément à une pression du manomètre de 8 atmosphères. Le piston de la presse ayant 0m,220, cette pression réalisait un effort :

Pour les deux crampons réunis de.	3,131 kilog.
Soit pour un seul crampon.	1,566

1. Ligne d'Alger à Blidah : elle renferme une pente de 13 millimètres sur 14 kilomètres.

Pour les crampons munis de bagues l'écrasement a eu lieu à une pression plus que double, à 17 atmosphères, correspondant à un effort :

Pour les deux crampons de.	6,653 kilog.
Soit pour un seul crampon.	3,327

Chacune de ces expériences a été répétée deux fois, et les résultats ont été exactement les mêmes.

2° Dans le *sapin*, le crampon *sans bague* a résisté à une pression de 1,566 kil.; *avec bague*, 2,679 kil.

3° Dans le *chêne*, le crampon *sans bague* a résisté, dans une première expérience, à 2,454 kil.; dans une seconde, à 2,356, c'est-à-dire moins que dans le sapin, et beaucoup moins que dans le pin, avec application de bagues.

Ces premiers résultats, bien constatés, montrent quel parti les lignes à construction économique pourront tirer des bois tendres. La résistance du chêne à l'écrasement étant de 707 kil. par centimètre carré, et celle du peuplier de 360, dont le double est 720 kil., on voit, sur-le-champ, qu'une traverse en peuplier, armée de quatre bagues et préparée au sulfate de cuivre, pourra résister aussi bien et durer autant qu'une traverse en chêne. Or, une semblable traverse ne coûtera pas plus de 2 fr. dans la plupart des régions de la France. Le prix de la bague étant au maximum de 7 centimes 1/2 la pièce, et la préparation représentant un chiffre de 0 fr.75 c. environ par traverse, on arrive à 3 fr. environ pour prix d'une traverse en peuplier, préparée et armée de bagues. Le prix des traverses en chêne étant d'environ 7 fr. la pièce, il y a donc là pour les petites lignes la source d'une économie de premier établissement de plus de 4,000 fr. par kilomètre de *simple voie*. Le sapin, dont le prix est également très-bas, et dont la préparation est aussi très-facile à cause de la rectitude de ses fibres, donnerait lieu aux mêmes avantages. Sa résistance par millimètre carré est de 463 kil., c'est-à-dire plus de la moitié de celle du chêne. Il aurait l'avantage de résister mieux que le peuplier à la pénétration du patin dans l'entaille de sabotage, inconvénient dont la gravité n'est pas, du reste, très-grande, et exige seulement des relevages de voie plus fréquents et des épaisseurs de traverses un peu plus considérables.

Nous appelons de tout notre pouvoir l'attention des ingénieurs chargés de l'entretien des voies de fer sur cette question de la substitution des bois tendres, faciles à préparer et économiques d'achat, aux bois durs, impossibles ou du moins difficiles à préparer, et ruineux par leurs prix tous les jours plus élevés[1].

1. La Compagnie du Nord fait en ce moment l'essai des bagues sur des portions de voie posées en traverses tendres, et où des élargissements s'étaient produits. Il est probable que, tout compte fait, elle trouvera avantage à conserver ces traverses en les armant de bagues, plutôt que de les remplacer par des traverses en bois dur.

Il nous reste à présenter quelques détails sur le mode de pose, détails qui justifieront les formes que nous avons adoptées pour nos bagues.

Après que la traverse a été entaillée, on y perce, en se guidant au moyen d'un gabarit, les trous de crampons; ces trous ont 15 millimètres de diamètre. Le crampon ayant 15 sur 18 de côté, il s'ensuit que, dans le sens transversal aux fibres, il ne tend aucunement à forcer, ni par conséquent à fendre le bois, et que, dans le sens longitudinal, il force de plus de 3 millimètres (*fig.* 8). Ordinairement les crampons ont une section carrée, et forcent conséquemment autant dans un sens que dans l'autre, ce qui amène souvent la fente du bois. La forme rectangulaire allongée que nous avons adoptée n'est possible qu'avec les bagues, parce que sans elles la surface résistante du bois se trouverait réduite derrière le crampon et ce dernier prédisposé au recul. L'avantage de cette disposition doit donc être porté en entier au compte des bagues.

Le trou du crampon étant percé d'outre en outre, on y introduit l'extrémité de la tarière (*fig.* 4 et 5), dont le diamètre est aussi de 15 millimètres, et qui s'y trouve conséquemment très-bien guidée. On perce alors le trou de la bague, que l'on n'approfondit que jusqu'au point où le dessus de la lame de la tarière affleure le dessus de l'entaille, ce qui donne au trou une profondeur de 26 millimètres. Son diamètre est de 48 millimètres.

La bague (*fig.* 9) est alors introduite par le côté qui présente un chanfrein et dont le diamètre est de 48 millimètres. Ce chanfrein facilite son introduction et permet de plus à l'ouvrier de distinguer le dessus du dessous de la bague; la faible conicité de celle-ci ne suffirait pas pour cela. D'un coup de marteau on la chasse au fond du trou, où elle a un serrage moyen de 1 millimètre, puisque son diamètre supérieur est 50 millimètres et son diamètre moyen 49. Sa hauteur étant de 22 millimètres, elle se trouve donc de 4 millimètres en contre-bas du fond de l'entaille de sabotage. Cette distance est nécessaire pour que le rail n'appuie pas sur elle, même après que le bois aura cédé sous sa pression. Les trois côtes saillantes, *f*, *g*, *h*, doivent être placées, *f* et *h* sur une ligne *f h* parallèle au bord de l'entaille (ce qui s'obtient facilement à l'œil); la côte *g*, vers l'intérieur de l'entaille. Ces côtes saillantes ont pour but, d'abord, de donner à l'œil des points de repère pour régler la position de la bague, et ensuite de l'empêcher, une fois posée, de tourner dans son trou. La forme rectangulaire allongée du crampon rend encore ces précautions indispensables, car si la bague n'était pas parfaitement orientée dans son trou, la tête du crampon pourrait ne pas être tournée du côté du pied du rail : on remarquera de plus que le trou rectangulaire de la bague est excentré de 1 millimètre vers le rail. Le but de cette disposition est de faire que le crampon serre à la fois, en avant, contre le patin du rail, en arrière, contre la bague, ce qui assure l'immobilité parfaite du rail dans le sens transversal, et motive encore la présence de la côte *g* comme

moyen de régler la position de la bague. Ce serrage de 2 millimètres a un autre but encore : c'est de remédier aux inégalités inévitables dans la largeur du patin, et qui résultent de l'usure des cylindres et des erreurs dans le laminage.

Les traverses, munies de leurs bagues, sont transportées du chantier à pied-d'œuvre. Les crampons s'enfoncent avec les précautions ordinaires, Le trou rectangulaire de la bague a 17 millimètres de côté; le crampon ayant 15 seulement dans le même sens, il y a là un jeu de 2 millimètres, dont le but est simplement d'abréger les tâtonnements nécessaires pour mettre l'encoche du rail exactement en rapport avec le trou du crampon et permettre l'introduction rapide de ce dernier.

Le système que nous venons d'exposer a été, comme nous l'avons dit plus haut, appliqué sur une ligne de 50 kilomètres. Aucune difficulté n'est survenue : le perçage des trous, l'enfoncement des bagues, la pose des crampons eux-mêmes ont eu lieu avec la plus grande facilité. Quant aux résultats en service, ils sont jusqu'ici satisfaisants.

Il va sans dire que la bague peut se combiner avec le tire-fond tout aussi bien qu'avec le crampon. La première application que nous en avons faite a même eu lieu avec des tire-fonds sur les ponts métalliques de la section de Moret à Montargis (ligne du Bourbonnais). Là, le rail reposant sur des longrines parfaitement stables elles-mêmes, le tire-fond se trouvait motivé, d'abord parce que les flexions et vibrations de la voie ne tendent plus, comme sur les parties posées sur traverses dans le ballast, à séparer le patin du rail de son appui et à déchausser le tire-fond; en second lieu, parce que les crampons, tous alignés sur une même fibre de bois, auraient tendu, d'une manière très-sensible, à fendre les longrines lors du clouage. Nous ne pensons pas qu'en dehors de ces conditions spéciales, l'usage du tire-fond puisse présenter des avantages sérieux.

On peut faire au modèle de bague que nous venons de décrire l'objection qu'il tend à réduire la surface du bois en contact avec le crampon, et, par conséquent, à rendre l'extraction de ce dernier plus facile. Nous nous sommes déjà expliqué sur cette question de l'arrachement, et nous croyons que ce phénomène est peu à craindre; nous croyons de plus que le meilleur moyen de retarder l'arrachement du crampon est de rendre impossible son ébranlement transversal. Nous nous appuierons sur ce fait bien connu, que lorsqu'on veut arracher un clou, une pointe de Paris, par exemple, d'une planche de sapin, le moyen le plus rapide consiste à agir d'abord transversalement sur le clou, de manière à écraser par son intermédiaire les fibres du bois qui l'environnent et qui, dès lors, cessent d'adhérer à sa surface; quand cet écrasement a été poussé assez loin, l'extraction du clou ne présente plus aucun obstacle. Aussi la bague doit, selon nous, tout en empêchant l'ébranlement du crampon, atteindre en même temps un autre but, celui

de rendre son extraction plus difficile. Dans tous les cas, ce dernier objet devrait être au besoin sacrifié au premier, parce que l'entretien peut remédier à la sortie du crampon et l'arrêter avant qu'elle ne devienne dangereuse, tandis qu'il est impuissant pour prévenir ou arrêter son ébranlement.

Modification au modèle d'abord employé. Toutefois, comme il suffit d'une très-faible surface de contact entre le crampon et l'intérieur de la bague pour répartir convenablement la pression réciproque, on pourrait peut-être adopter pour cette pièce la forme représentée (*fig.* 2), dans laquelle la partie intérieure et inférieure de la bague a la forme d'un cône rentrant. Cette disposition aurait l'avantage de laisser une plus grande longueur de crampon en contact avec le bois, et d'augmenter ainsi la résistance à l'arrachement. Il est bien entendu qu'alors la forme des lames de la tarière serait modifiée, de manière à donner au fond du trou la forme d'un cône saillant, dont l'angle au sommet serait un peu plus aigu que celui de la bague; le bois se trouverait, par l'enfoncement du crampon, comprimé entre sa surface extérieure et celle intérieure de la bague.

Une autre objection est celle-ci : le trou de la bague pourra servir de réceptacle à l'humidité, et la bague se rouillant activera la décomposition du bois par suite de l'action oxydante de la rouille sur les bois en général, et surtout sur les bois préparés au sulfate de cuivre. Cette objection est fondée; mais elle peut être levée très-simplement en ayant soin de goudronner les trous au moment de la pose. On pourrait aussi, mais ce procédé augmenterait sensiblement le prix des bagues, employer la galvanisation au zinc, ou l'étamage, ou enfin les procédés d'application du cuivre de M. Oudry. Ajoutons, d'ailleurs, que si le trou est percé à la profondeur voulue, et la bague bien chassée à fond, il ne restera pas plus de place à l'introduction de l'eau que dans un trou ordinaire de chevillette ou de crampon.

Une objection plus spécieuse que fondée a été encore soulevée. Voici en quoi elle consiste : Puisque la bague n'a pour résultat définitif que de doubler la résistance du crampon, au lieu d'introduire une pièce nouvelle dans la pose, il vaut mieux se contenter de doubler le nombre des crampons partout où cela sera nécessaire. Il est facile de répondre à cette objection.

D'abord, la dépense due à l'emploi d'un crampon supplémentaire serait environ le double de celle donnée par l'emploi des bagues (le prix du tire-fond varie de 12 à 15^c, celui de la bague de 5 à 7 1/2). Il n'y aurait avantage en faveur du double crampon que si, comme quelques personnes l'ont cru, il suffisait d'en placer quelques-uns à l'extérieur de la voie, et seulement dans les courbes les plus raides; mais la tendance du rail à se redresser sous l'action de son élasticité et de la pression des boudins est aussi forte du côté concave que du côté convexe : il s'ensuit

que le soutien à donner au rail est aussi nécessaire à l'intérieur qu'à l'extérieur de la voie. D'ailleurs, ce n'est pas seulement dans les courbes très-raides que ce soutien est utile. Les effets que nous avons décrits y sont, il est vrai, beaucoup plus saillants que partout ailleurs; mais, dans toutes les courbes et même en ligne droite, ils se produisent encore, sur une échelle seulement un peu plus réduite : et si l'on réfléchit aux avantages que présentent la précision et la solidité de la voie, on reconnaîtra l'utilité des améliorations que nous proposons sur tous les points du tracé, même en laissant de côté le cas des traverses en bois tendre.

En second lieu, il est douteux que les deux crampons arrivent jamais à travailler simultanément, ce qui serait nécessaire pour doubler réellement la résistance. L'expérience apprend, en général, que les pressions dues à une charge mobile se concentrent toujours en entier et successivement sur chacun des appuis, loin de se partager entre eux, comme on pourrait le supposer au premier abord.

En outre, les dimensions que nous avons adoptées nous ont permis de doubler la résistance du crampon, et cela nous a suffi; mais nous opérions sur le pin résineux dont la résistance est de 477 kilogr. par centimètre carré. Avec un bois plus tendre, comme le peuplier ou le sapin, avec des courbes très-raides, il faudra sans doute dépasser ces dimensions de manière à tripler peut-être la résistance du crampon. Pourra-t-on jamais songer, pour arriver au même résultat, à tripler le nombre des crampons? Même en s'en tenant à deux de chaque côté du rail, si l'on veut, pour éviter de fendre le bois, les faire chevaucher d'un côté à l'autre, on aura beaucoup de peine à les placer tous les quatre sur toutes les traverses, notamment les demi-rondes (*fig.* 13). En outre, le changement d'un rail dans l'entretien de la voie Vignole ordinaire est déjà une opération longue et pénible (à cause de la difficulté d'arracher les crampons) et qui a motivé de fortes objections à l'emploi de ce rail sur les lignes à circulation active. Que sera-ce s'il faut doubler la longueur et la difficulté de cette main-d'œuvre?

Enfin, la forme que les bagues permettent de donner au crampon diminue les chances de fente, et ce n'est pas là un avantage à dédaigner.

Il faut, d'ailleurs, remarquer que la bague ne constitue réellement pas une pièce de plus à la pose. A la pose ou dans les remaniements de voie, les traverses sont amenées à pied d'œuvre ou retirées des voies tout armées de leurs bagues, de même que les traverses de la voie à coussinets arrivent toutes sabotées; il n'y a là aucune des difficultés inhérentes à l'emploi de pièces mobiles et sujettes au remplacement.

Nous avons encore à faire connaître un autre avantage propre aux bagues et qui se présente précisément dans l'arrachement des crampons. Cette opération se fait ordinairement avec la pince à fourche, dite pied-de-biche, dont l'extrémité s'introduit sous les oreilles du crampon et avec le talon de laquelle on fait une pesée sur le bois de la traverse.

Dans cette opération le talon du pied-de-biche écrase le bois et, le point d'appui manquant, on a souvent la plus grande peine à obtenir l'extraction. Quand enfin, on y arrive, ce n'est qu'en tordant ou cassant le crampon, en fendant la traverse, et en mâchant les bords du trou, à tel point qu'il faut, la plupart du temps, le boucher par une cheville en bois et percer, si l'état de la traverse le permet, un nouveau trou où l'on replace le crampon, pourvu toutefois qu'il soit encore en état de servir. Avec les bagues tous ces inconvénients disparaissent. En interposant une cale en fer entre le talon du pied-de-biche et la bague, on peut s'en servir comme point d'appui sans crainte de le voir céder sous la pression : par suite, le crampon sort droit sans se courber ni se casser; les bords du trou sont respectés, et le crampon peut y être ensuite replacé sans difficulté. De là résultent pour l'entretien une sensible économie dans la main-d'œuvre et dans l'emploi des matériaux, en même temps qu'une promptitude avantageuse au service en général. Et comme, en définitive, c'est par les détériorations qu'elles présentent dans la région du sabotage et du clouage que les traverses arrivent à être mises au rebut, il n'est pas douteux que l'application des bagues ne doive contribuer à en prolonger la durée.

Afin de donner le plus d'extension possible au principe sur lequel repose l'emploi des bagues, on peut apporter à cette petite pièce quelques perfectionnements qui doivent, selon nous, en augmenter les avantages et en généraliser l'application.

1° En donnant à la partie de la bague qui n'est pas recouverte par le patin du rail la surélévation de 13 à 15 millimètres représentée par la figure 2, on réalisera plusieurs avantages :

a. — On augmente ainsi de plus de moitié la surface extérieure de la bague en contact avec le bois et, par suite, la solidité du crampon. Sa résistance au renversement passera donc, dans le pin, de 3.327^{k} à 4.980^{k}; dans le chêne *sans bague*, elle n'est que de 2.454^{k} [1].

b. — On fait disparaître la dépression qui existait dans le bois, avant cet accroissement de hauteur, et pouvait servir de réceptacle aux eaux pluviales (*fig.* 11).

c. — On donne au talon du *pied-de-biche* un point d'appui métallique, sans être obligé de recourir aux cales pour faciliter l'arrachement du crampon dans les opérations de dépose.

d. — On augmente la surface de fonte en contact avec la partie postérieure du crampon, et on risque moins de voir la bague user le crampon.

1. Voyez plus haut, page 11.

Dans les fortes pentes, le crampon est moins exposé à être courbé ou cassé par la force d'entraînement des rails.

f. — Enfin, le bord du patin se trouve en contact avec le bord intérieur de la bague, et s'il n'y puise pas un soutien nouveau, puisque la pression se reporte toujours en définitive sur la surface extérieure de la bague, il y trouve une surface de contact qui protégera le crampon contre l'usure à laquelle il est exposé de la part du patin, usure souvent très-notable.

Il faut remarquer que le bord de la région supérieure de la bague doit être chanfreiné de 2 $^{m}/_{m}$ environ, et en retraite de 1 $^{m}/_{m}$ sur le bord du trou du crampon.

En effet, pour parer aux inégalités de largeur du patin, et pour être assuré qu'il n'aura pas de jeu entre les deux crampons, on réduit en exécution de 2 $^{m}/_{m}$ la distance normale entre les bords extérieurs des crampons, de manière que ces derniers, forcés de passer entre la bague et le patin, repoussent la bague dans le bois et donnent un serrage complet. Comme le rail s'introduit dans l'entaille de sabotage avant le clouage, on pourrait, par suite de ces inégalités du patin, avoir la plus grande peine à l'y faire entrer, si on n'avait pris la précaution indiquée plus haut de reculer d'un millimètre le bord supérieur de la bague par rapport au trou du crampon, et donner de la dépouille à ce bord. Il importe, toutefois, qu'il y ait un certain serrage pour éviter que le rail tende à prendre du mouvement.

2° En adoptant pour les joints la bague double représentée par les figures 3, 7 et 10, on réalisera les avantages que nous venons de détailler, et de plus, on fera disparaître une infériorité de la bague relativement aux plaques de joint. En effet, dans ce dernier appareil chaque rail du joint trouve, en supposant qu'il agisse isolément sur le crampon qui lui correspond, le soutien des trois autres par suite de la solidarité que la plaque établit entre eux : il est vrai que cet effet ne se produit qu'après que le jeu inévitable a disparu, et lorsque, par conséquent, le mâchage des trous de la traverse s'est déjà produit dans une certaine mesure. Malgré cela, on considère ordinairement la résistance de chaque crampon pris isolément, comme quadruplée par l'emploi de la plaque de joint. La bague double réalisera et au delà cet avantage, car la surface totale résistante est, par suite de la surélévation donnée à la bague, portée à 5.712 $^{m}/_{m}$ carrés, tandis que le quadruple de la surface postérieure du crampon n'est que 5.400 $^{m}/_{m}$ carrés.

Nous ferons encore remarquer l'avantage de donner aux extrémités des patins dans le joint le soutien latéral de la paroi métallique *a b* (*fig.* 7), due à la saillie de la partie extérieure de la bague. Les rails étant introduits de force entre les bagues extérieures et intérieures, il n'y aura pas de jeu entre eux et les bagues, et l'éclisse y trouvera un puissant secours pour réaliser la jonction des bouts de rails dans le sens transversal.

La forme de bague double représentée (*fig.* 7) convient au cas où il y a quatre boulons par éclisse ; pour le cas de l'éclissage à trois boulons, on pourra recourir à la forme représentée (*fig.* 10), qui présente une surface extérieure encore plus grande et qui, de plus, permet d'arracher les crampons au joint sans toucher au boulon du milieu. Cette précaution n'est du reste pas indispensable.

Il va sans dire que dans ces deux derniers systèmes, les trous se percent de la même manière : il faut de plus, dans le système pour éclisse à trois boulons, faire tomber à la bisaiguë l'éclat de bois qui reste entre les circonférences des trous percés à la mèche et le plan déterminé par la paroi extérieure de la bague double.

NOTE
SUR LES MEULES D'ÉMOULAGE.

FORMULES NOUVELLES
DE RÉSISTANCE DES CORPS CYLINDRIQUES,

PAR

EM. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ[1].

1° EXPOSÉ DE LA QUESTION. — CONCLUSION.

Les accidents amenés de temps à autre, par l'explosion des meules d'émoulage, nous ont conduit à étudier les conditions d'établissement et d'essai de ces appareils.

Des renseignements puisés aux sources les plus diverses ont révélé ces deux faits :

1° Les meules n'éclatent généralement pas lorsqu'elles sont neuves, mais lorsque leur diamètre a été réduit d'une quantité parfois considérable.

2° La plupart, ou du moins un grand nombre, des meules qui ont éclaté, avaient été essayées à grande vitesse.

Dès lors il est naturel de supposer que, contrairement à l'opinion généralement répandue, c'est vers le centre de la meule que les tensions développées par le mouvement de rotation acquièrent le plus d'intensité,

1. Peu de temps avant d'être enlevé par une mort subite à l'affection de ses amis, M. Faure avait eu la bonté de relire ce travail, et c'est par son conseil que nous l'avons publié. Nous rendons ici le témoignage de nos regrets et de notre reconnaissance à notre cher professeur, qui nous avait toujours soutenu d'un si affectueux et si bienveillant appui.

qu'ainsi c'est vers le centre que la meule commence à se crevasser, et que si elle résiste encore, même à grande vitesse, lorsque son pourtour est sain, elle éclatera nécessairement lorsque la partie saine (représentée en A A A fig. 1) sera suffisamment usée.

Cette hypothèse étant confirmée par les calculs résumés ci-après, il est démontré nécessaire :

1° *De réitérer l'essai :* toutes les fois, au moins, que l'on réduira les poulies, en vue d'augmenter le nombre de tours de la meule en partie usée.

2° *De ne plus effectuer l'essai à très-grande vitesse :* peut-être même convient-il de ne pas dépasser à l'essai la vitesse de fonctionnement. — Bien des considérations peuvent être invoquées sur ce point délicat, sur lequel nous appelons l'attention des ingénieurs.

2° RENSEIGNEMENTS SUR UN NOUVEAU SYSTÈME DE MEULES.

Avant d'exposer le résultat de nos calculs, nous dirons quelques mots des meules du *système Picard*, qui, dans l'opinion de plusieurs chefs d'usines (et notamment de M. Mansoy, de Douai, de qui nous tenons la plupart des renseignements qui suivent), deviendront probablement d'un emploi général.

Ces meules, représentées (fig. 2), sont composées de voussoirs VVV montés dans une roue en fonte, et leurs avantages sur les meules pleines peuvent se résumer ainsi :

1° *Commodité.* 2 ou 3 hommes peuvent (sans gêner en rien le travail de l'atelier) renouveler en 2 ou 3 heures une garniture de voussoirs, tandis que le remplacement d'une meule pleine exige une manœuvre longue, difficile, et qui ne peut guère s'effectuer qu'en dehors des heures de travail.

2° *Économie.* Sur les frais d'entretien, sur la force motrice (puisque l'appareil est plus léger), et enfin sur les déchets de pierre, qui sont bien moins considérables que dans le système ordinaire.

3° *Sécurité.* D'abord (comme l'indique le tableau I, exposé ci-après au 3e paragraphe), parce que la pierre qui travaille a une bien moindre tension, et ensuite parce que la rupture d'un voussoir isolé présentera peu de chances d'accidents, tandis que, dans le système ordinaire, une rupture partielle détermine presque toujours l'explosion de toute la meule.

4° *Facilité de monter une meule avec des voussoirs de qualité bien homogène et exactement convenable au travail à effectuer.*

A cet effet, les voussoirs sont classés d'après leur grain sous divers numéros.

Tels sont les principaux avantages des meules Picard.

La seule précaution qu'elles exigent consiste à ne pas épaufrer les

joints des voussoirs, pendant le taillage. Ces joints sont, du reste, bourrés avec du ciment.

Plusieurs chefs d'usines, et entre autres M. Mansoy, qui a employé depuis 3 ans 5 à 6 meules évidées dans trois usines différentes, ont manifesté l'intension de ne plus établir que des meules Picard.

3° RÉSUMÉ DES CALCULS.

La théorie ordinaire de la résistance étant impuissante à faire connaître les tensions qui se développent dans la rotation des meules, on a dû recourir à la *théorie de l'élasticité*.

On trouve dans les leçons *Sur la théorie mathématique de l'élasticité* de M. Lamé, page 182 et suivantes, XIV^e^ leçon, les équations différentielles de l'équilibre et de l'élasticité, exprimées en coordonnées semi-polaires.

Nous avons appliqué ces équations en conservant les notations de M. Lamé, et en supposant que l'axe des Z coïncide avec l'axe de la meule.

Nous avons supposé de plus que la meule était :

Homogène, sans quoi la théorie employée ne saurait convenir;

Parfaitement circulaire, d'où il résulte que toutes les dérivées par rapport à φ sont nulles;

Animée d'une vitesse constante et n'étant soumise à aucune force extérieure, d'où il résulte : Z_0 et Φ_0 nuls, et $R_0 = \omega^2 r$;

D'épaisseur constante.

Enfin, comme l'on a (en comptant les z à partir du plan de symétrie de la meule) :

1° Pour $z = o$, et en vertu de la symétrie : $Z_1 = o$, $\frac{dZ_1}{dz} = o$, $\frac{dZ_3}{dz} = o$;

2° Sur les faces de la meule supposée d'épaisseur $2b$ / C'est-à-dire pour $z = \pm b$ } $Z_1 = o$, $Z_3 = o$,

il y a lieu de penser que dans toute l'épaisseur de la meule, c'est-à-dire de $z = +b$ à $z = -b$, Z_1 et Z_3 n'atteignent que de très-faibles valeurs et qu'ainsi l'on peut admettre approximativement :

Z_1 et Z_3 nuls (*).

(*) Supposons que Z_1 qui est fonction de z et r, soit développable en série de la forme.

$$(1) \qquad Z_1 = f(r) + f_1(r)\,z + f_2(r)\,\frac{z^2}{12} + \ldots\ldots$$

Puisque Z_1 et $\frac{dZ_1}{dz}$ sont nuls pour $z = o$, cette série se réduit à :

$$Z_1 = f_2(r)\,\frac{z^2}{12} + f_3(r)\,\frac{z^3}{1.2.3} + \ldots\ldots,$$

C'est dans les hypothèses ici résumées :

$$\Phi_0 \text{ et } Z_0 \text{ nuls}, \quad R_0 = \omega^2 r, \quad \frac{d\omega}{dt} = o$$

$$V = o$$
$$R_2, R_3, \Phi_1, \Phi_3, Z_1, Z_2, Z_3 \text{ nuls},$$
$$R_1 \Phi_2 U W \text{ indépendants de } \varphi,$$

que nous avons calculé R_1, Φ_2 et U.

Ces fonctions ne dépendent plus que de r ; en effet, les équations d'équilibre (5) (page 182 de l'ouvrage de M. Lamé) se réduisent à la première qui devient (*) :

$$(b) \qquad \frac{dR_1}{dr} + \frac{R_1 - \Phi_2}{r} + \rho\omega^2 r = o,$$

et les dix équations d'élasticité (7) (page 184) se réduisent aux quatre suivantes :

$$(c) \qquad \begin{cases} \theta = \dfrac{1}{r}\dfrac{d.rU}{dr} + \dfrac{dW}{dz} \\ R_1 = \lambda\theta + 2\mu\dfrac{dU}{dr} \\ \Phi_2 = \lambda\theta + 2\mu\dfrac{U}{r} \\ o = \lambda\theta + 2\mu\dfrac{dW}{dz}. \end{cases}$$

Éliminant entre les quatre équations (c), les deux inconnues auxi-

et si l'on suppose b et par suite z très-petits, l'on peut admettre la valeur :

$$Z_1 = f_2(r)\frac{z^2}{12};$$

Comme l'on a pour $z = \pm b$, $\quad o = Z_1 = f_2(r)\dfrac{b^2}{12}$, $\quad$ on doit avoir : $f_2(r) = o$,

et $Z_1 = o$ pour toute valeur de z.

On a d'ailleurs en vertu de la 3e des équations (5) (page 184 de l'ouvrage de M. Lamé), d'après les hypothèses précitées [et d'après le résultat précédent : $Z_1 = o$ *pour toute valeur de* z], on a, dis-je, $\dfrac{dZ_3}{dz} = o$ pour toute valeur de z, et comme $Z_3 = o$ pour $z = \pm b$, on a $Z_3 = o$ pour toute valeur de z.

Ainsi pour une meule de faible épaisseur on peut admettre :

$$Z_1 \text{ et } Z_3 \text{ nuls}, \quad \text{quel que soit } z,$$

si la valeur de Z_1 est développable en série de la forme (1).

(*) L'équation b s'obtient aussi directement par la considération de l'équilibre d'un élément de la meule en supposant Z_1, Z_3, R_2, Φ_3 nuls.

liaires θ et W et combinant avec l'équation (b) les deux équations ainsi obtenues, on a le système :

$$(d)\quad \begin{cases} \dfrac{dR_1}{dr}+\dfrac{R_1-\Phi_2}{r}+\rho\omega^2 r=o \\ R_1+\Phi_2+\dfrac{3\lambda+2\mu}{4(\lambda+\mu)}\rho\omega^2 r^2+K=o \\ \Phi_2-\dfrac{\lambda}{3\lambda+2\mu}\left(R_1+\Phi_2\right)-2\mu\dfrac{U}{r}=o \end{cases}$$

Système de trois équations à trois inconnues, où K est une constante arbitraire amenée par une première intégration.

Si l'on emploie les notations suivantes (*) :

Quantités constantes.
- E rayon extérieur de la meule;
- e { rayon de l'œil de la meule si la meule est libre, ou rayon extérieur des plateaux, si la meule est montée entre plateaux.

Notations abrégées.

$$\rho\omega^2=c$$

$$\frac{7\lambda+6\mu}{16(\lambda+\mu)}c=\pi \qquad \frac{\lambda+2\mu}{16(\lambda+\mu)}c=\chi$$

$$\frac{5\lambda+2\mu}{16(\lambda+\mu)}c=\sigma \qquad \frac{\lambda+2\mu}{3\lambda+2\mu}=t$$

Si l'on intègre le système (d) et que l'on détermine la constante K sous la condition (résultant des hypothèses déjà faites), que pour $r=E$ l'on ait $R_1=0$, on obtient le système :

$$(I)\quad \begin{cases} R_1=\pi(E^2-r^2)-D\left(\dfrac{1}{E^2}-\dfrac{1}{r^2}\right) \\ \Phi_2=\pi E^2-\sigma r^2-D\left(\dfrac{1}{E^2}+\dfrac{1}{r^2}\right) \\ 2\mu\dfrac{U}{r}=\pi t E^2-\chi r^2-D\left(\dfrac{t}{E^2}+\dfrac{1}{r^2}\right) \end{cases}$$

où D est une constante arbitraire qui sera déterminée par les conditions du montage de la meule.

Formules qui deviennent dans les deux hypothèses suivantes (**) :

1° Meule très-mal serrée ou point du tout serrée entre ses deux plateaux (ce qui s'exprime par la condition que pour $r=e$, rayon de l'œil de la meule, $R_1=0$).

$$(II)\quad \begin{cases} R_1=-\pi r^2+\pi\left(E^2+e^2\right)-\pi\dfrac{E^2e^2}{r^2}, \\ \Phi_2=-\sigma r^2+\pi\left(E^2+e^2\right)+\pi\dfrac{E^2e^2}{r^2}. \end{cases}$$

(*) Nous représentons (fig. 3 et 4) les seules forces et les seules dimensions que nous avons encore à considérer dans la résolution du problème.

(**) C'est le lieu de faire observer que pour une meule Picard, dont la couronne de fonte

2° Meule montée entre plateaux parfaitement rigides et très-bien serrés. (On s'approchera de cette hypothèse en supposant qu'à la circonférence du plateau supposée de rayon e, l'on a $U = 0$.)

$$\text{(III)} \quad \begin{cases} R_1 = -\pi r^2 + \dfrac{\pi E^4 + \chi e^4}{E^2 + t e^2} + \dfrac{\pi t E^2 - \chi e^2}{E^2 + t e^2} \cdot \dfrac{E^2 e^2}{r^2}, \\ \Phi_2 = -\sigma r^2 + \dfrac{\pi E^4 + \chi e^4}{E^2 + t e^2} - \dfrac{\pi t E^2 - \chi e^2}{E^2 + t e^2} \cdot \dfrac{E^2 e^2}{r^2}. \end{cases}$$

Sans rapporter ici toute la discussion de ces équations, nous dirons : 1° Que pour les équations (II), comme on a toujours $\pi - \sigma = 2\lambda + 4\mu > 0$, il est manifeste que l'on a toujours $\Phi_2 > R_1$; et comme, en différenciant la valeur de Φ_2, on voit que $\dfrac{d\Phi_2}{dr}$ est toujours négative de $r = e$ à $r = E$, il est clair que la tension maxima qui se développe dans la meule est la tension Φ_2, pour $r = e$, et comme d'ailleurs il est aisé de voir que la somme $(R_1 + \Phi_2)$ croît à mesure que r diminue de la valeur E à la valeur e, il est clair que les points qui travaillent le plus sont ceux situés à l'œil de la meule.

2° Quant aux équations (III), nous ferons d'abord observer que la somme $(R_1 + \Phi_2)$ est encore croissante de $r = E$ à $r = e$, où elle est maxima; en second lieu, comme on a toujours $\pi t E^2 - \chi e^2 > 0$ (et il est aisé de vérifier en substituant à $\pi\chi t$ leurs valeurs), il s'ensuit que $\dfrac{dR_1}{dr}$ est toujours négative de $r = e$ à $r = E$, et que R_1 est maxima pour $r = e$.

Quant à Φ_2, nous admettons, pour simplifier la discussion, que e soit négligeable vis-à-vis de E, ce qui a généralement lieu. Dans cette hypothèse, la valeur maxima de Φ_2 est $\Phi_2 = \pi E^2 - 2\sqrt{\sigma\pi t}.\, E e$, correspondant à :

$$r = \sqrt{Ee}.\sqrt[4]{\frac{\pi t}{\sigma}},$$

et comme la valeur maxima de R_1 est $R_1 = \pi(1 + t)\, E^2 - \pi e^2$ correspondant à $r = e$, il s'en suit que, très-généralement, la différence des maximum de R_1 et de Φ_2, à savoir : $\pi(t E^2 - e^2) + 2Ee\sqrt{\sigma\pi t}$ est positive, car les coefficients $\pi\sigma t$ sont essentiellement positifs, et très-généralement $t E^2$ est plus grand que e^2.

Ainsi, il est établi que pour les équations III, comme pour les équations II, ce sont en général, et quelle que soit la valeur de $\dfrac{\lambda}{\mu}$, *les points de la circonférence* $r = e$ *qui travaillent le plus*, puisque dans ces deux systèmes,

a un rayon e et dont les voussoirs ont une hauteur h, on a sur le pourtour de la couronne de fonte :

$$R_1 = \rho\omega^2 h e.$$

c'est à la valeur $r = e$ que correspondent, et le maximum de la somme $R_1 + \Phi_2$, et le maximum absolu de R_1 et Φ_2.

Voici un exemple d'application de ces formules :

Admettons $\lambda = 2\mu$ (*), et supposons les dimensions suivantes qui sont très-fréquemment réalisées :

$$E = 1^m,25 ; \; e \begin{cases} \text{(pour les formules II)} = 0^m,10 \text{ rayon de l'œillard.} \\ \text{(pour les formules III)} = 0^m,50, \text{ rayon des plateaux.} \end{cases}$$

On trouve pour les tensions maxima, dans les deux hypothèses de plateaux non serrés et de plateaux parfaitement rigides et serrés, les valeurs consignées dans le tableau I suivant.

Ces tensions sont mises en regard des tensions maxima qui se développeraient dans une meule Picard de même rayon extérieur, et dont la roue de fonte aurait un rayon de $1^m,00$. — Plus loin, le tableau II résume les expériences sur la résistance de la pierre à meule, à la traction, effectuées aux ateliers du chemin de fer du Nord, pendant l'année 1859.

(*) Il est à remarquer que l'hypothèse $\lambda = \mu$ conduit à des valeurs de $\pi\chi\sigma t$ très-peu différentes des valeurs auxquelles conduit l'hypothèse $\lambda = 2\mu$.

TABLEAU I. *Des tensions maxima qui se développent dans une meule en service.*

CONDITIONS GÉNÉRALES.	NOMBRE DE TOURS par 1′.	TENSION MAXIMA TENDANT A PRODUIRE LA RUPTURE. Dans une meule entre plateaux parfaitement rigides et serrés. C'est la tension R_1 (des formules III) pour $r = e$ rayon des plateaux.	Dans une meule entre plateaux non serrés ou peu serrés. C'est la tension Φ_2 (des formules II) pour $r = e$ rayon de l'œillard.	Dans une meule Picard dont la couronne de fonte aurait 1m de rayon.
Rayon extérieur 1m,25		Cette tension est située au pourtour des plateaux et tend à rompre la meule suivant ce pourtour, à peu près comme l'indique la fig. 5, représentant une meule qui a éclaté dans un essai à grande vitesse, en 1859.	Cette tension est située à la circonférence de l'œillard de la meule et dirigée perpendiculairement au rayon. Elle tend à fendre la meule comme l'indique la fig. 6, représentant une autre meule qui a éclaté dans un essai à grande vitesse, en 1859.	Cette tension, dirigée suivant le rayon, tend à rompre les vousoirs suivant le pourtour de la couronne de fonte.
Masse de l'unité de volume (m. cube) 240		TENSION PAR CENTIMÈTRE QUARRÉ EN KILOG.		
	134t	4	6	1
	165t	6	9 ½	2
	190t vitesse ordinaire des essais.	8 ½	12 ½	2 ½
	212t vitesses accidentelles des essais.	10 ½	15 ½	3
	233t vitesses accidentelles des essais.	12 ½	18 ½	3 ½
		NOTA. — Il est probable que dans la pratique les valeurs des tensions maxima oscillent entre les chiffres de ces deux colonnes.		

TABLEAU II. *Résumant les résultats d'expériences de traction que M. Nozo a fait effectuer en 1859 au chemin de fer du Nord.*

N^os D'ORDRE des expériences.	SECTIONS DES PRISMES soumis à l'épreuve.	TENSION (par cent. q.) amenant la rupture.	MOYENNES.	OBSERVATIONS.
	millimètres.	kilogrammes.	kilogrammes.	
1	39 × 36 = 1404	13.2	10.62	Les 4 expériences n^os 1, 2, 3, 4 ont été effectuées sur les morceaux de deux vieilles meules fort semblables (quant au grain) à la meule qui a fait l'objet des expériences 5, 6, 7, 8.
2	» = 1216	11.8		
3	» = 1300	7.0		
4	» = 1400	10.5		
5	52 × 48 = 2496	8.7	9.00	Ces quatre expériences n^os 5, 6, 7, 8 ont été effectuées sur les débris d'une meule en grès rouge qui avait éclaté dans un essai à grande vitesse. (C'est la meule dont il est question dans la 1^re colonne du tableau n° I.)
6	50 × 45 = 2250	7.8		
7	56 × 51 = 2856	9.4		
8	56 × 51 = 2856	10.1		
9	38 × 33 = 1254	8.4	7.05	Les 6 expériences n^os 9, 10, 11, 12, 13, 14 ont été effectuées sur les débris d'une autre meule en grès rouge qui avait également éclaté dans un essai à grande vitesse. (C'est la meule dont il est question dans la 2^e colonne du tableau n° I.)
10	38 × 44.5 = 1641	8.7		
11	» = 1710	8.0		
12	53 × 41 = 2173	7.2		
13	53 × 41 = 2173	7.2		
14	72 × 44 = 3168	6.3		
15	58 × 46 = 2660	15.0		Des deux expériences n^os 15, 16, la première est relative à une vieille meule blanche à grain très-fin, et la deuxième à une vieille meule blanche d'un grain gros et brillant.
16	40.5 × 43 = 1741	6.8		

NOTA. — Ces expériences ont été faites en soumettant, à des efforts croissants de traction, des prismes de pierres à meules dont les extrémités, entourées de papier de verre, étaient serrées entre des pinces de bois.

La comparaison des tableaux I et II établit clairement :

1° Que les meules étant essayées très-près de leur point de rupture, il y a grand danger que l'essai à grande vitesse ne fasse naître, vers le centre ou au pourtour des plateaux, des crevasses qui déterminent l'explosion lorsque la meule est suffisamment usée.

2° Que dans les meules Picard, la pierre doit travailler sous une tension beaucoup plus éloignée du point de rupture que dans les meules pleines.

4° FORMULES NOUVELLES DE RÉSISTANCE DES CORPS CYLINDRIQUES.

Nous avons déterminé les deux constantes arbitraires introduites par l'intégration des équations différentielles :

D'abord par les conditions $\left\{\begin{array}{l} R_1 = o \text{ pour } r = E \\ R_1 = o \text{ pour } r = e \end{array}\right.$ ce qui nous a conduit aux équations II,

et ensuite par les conditions $\left\{\begin{array}{l} R_1 = o \text{ pour } r = E \\ U = o \text{ pour } r = e \end{array}\right.$ ce qui nous a conduit aux équations III.

D'autres hypothèses eussent conduit à d'autres formules de résistance convenant à divers cas, ainsi par les hypothèses :

$$\left\{\begin{array}{l} R_1 = o \quad \text{pour } r = E \\ R_1 = -f \text{ pour } r = e \end{array}\right\}$$

on arrive aux formules relatives au cas où la surface extérieure $r = E$ n'est soumise à aucune force, et où la surface intérieure $r = e$ est soumise à une force expansive f, formule qui permettrait d'avoir une idée des tensions qui se développent dans les moyeux et les tympans des roues pleines.

Supposons de plus $\omega = o$, c'est-à-dire le cylindre en repos, on aura des formules de résistance relatives aux cylindres des presses hydrauliques et des machines à eau ou à vapeur, aux réservoirs d'eau verticaux et circulaires, etc.

Ces formules sont :

$$\text{(IV)} \qquad \left\{\begin{array}{l} R_1 = f \dfrac{E^2 e^2}{E^2 - e^2}\left(\dfrac{1}{E^2} - \dfrac{1}{r^2}\right) \\ \Phi_2 = f \dfrac{E^2 e^2}{E^2 - e^2}\left(\dfrac{1}{E^2} + \dfrac{1}{r^2}\right) \end{array}\right.$$

Où l'on voit que R_1 et Φ_2 sont toutes deux maxima pour $r = e$, c'est-à-dire à la surface interne, où ils ont pour valeur :

$$R_1 = -f$$
$$\Phi_2 = f \frac{E^2 + e^2}{E^2 - e^2}.$$

Ainsi, par exemple, dans l'hypothèse $E = 2e$, l'on aura :

$$\text{pour } r = e \text{ les valeurs maxima} \begin{cases} R_1 = -f \\ \Phi_2 = \frac{5}{3} f \end{cases}$$

$$\text{pour } r = E \text{ les valeurs minima} \begin{cases} R_1 = o \\ \Phi_2 = \frac{2}{3} f. \end{cases}$$

Il est remarquable que les formules IV ne renferment aucun des coefficients de substance λ et μ, et qu'ainsi elles conviennent aux matières les plus diverses, depuis le caoutchouc, par exemple, jusqu'à la fonte et à l'acier.

On avait sujet de penser qu'un résultat aussi simple pouvait s'obtenir très-simplement; c'est, en effet, ce qui a lieu : considérons un élément infinitésimal cylindrique; d'abord il doit satisfaire à une équation d'équilibre qui est : $\frac{dR_1}{dr} + \frac{R_1 - \Phi_2}{r} + \rho \omega^2 r = o$, équation qui pour $\omega = o$ se réduit à : $\frac{dR_1}{dr} + \frac{R_1 - \Phi_2}{r} = o$. En second lieu, si l'on admet que la dilatation $\frac{dU}{dr}$ de l'élément dans le sens du rayon r soit une fonction linéaire $a R_1 + b \Phi_2$ des forces R_1 et Φ_2, et si l'on admet de plus que le corps soit homogène, et que, par conséquent, la dilatation $\frac{U}{r}$, perpendiculaire au rayon, soit égale à la même fonction $a \Phi_2 + b R_1$ de Φ_2 et de R_1, on aura, en définitive, entre les quantités $U R_1 \Phi_2 r$, les trois relations :

$$\text{(K)} \quad \begin{cases} \frac{dR_1}{dr} + \frac{R_1 - \Phi_2}{r} = o \\ \frac{dU}{dr} = a R_1 + b \Phi_2 \\ \frac{U}{r} = a \Phi_2 + b R_1 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{équation d'équilibre,} \\ \left.\begin{matrix} \\ \\ \end{matrix}\right\} \text{équations d'élasticité;} \end{matrix}$$

éliminant U entre les deux dernières de ces équations (K), on a :

$$(a - b) \frac{R_1 - \Phi_2}{r} - a \frac{d\Phi_2}{dr} - b \frac{dR_1}{dr} = o;$$

combinant cette équation avec la première des équations (K), b disparaît, et il vient :

$$a \left(\frac{dR_1}{dr} + \frac{d\Phi_2}{dr} \right) = o;$$

d'où l'on tire, quel que soit a, pourvu qu'il ne soit pas nul :

$$R_1 + \Phi_2 = C \text{ (C étant une constante indéterminée).}$$

Ainsi, en définitive, les coefficients de substance a et b disparaissent simultanément, et l'on obtient entre R_1 Φ_2 et r les équations :

$$(V) \qquad \begin{cases} \dfrac{dR_1}{dr} + \dfrac{R_1 - \Phi_2}{r} = o \\ R_1 + \Phi_2 = C. \end{cases}$$

Ce sont les *équations différentielles générales* (*) *des tensions qui se développent dans un corps cylindrique en repos :* il était intéressant, je crois, de montrer qu'on peut les établir par une voie très-élémentaire et sans faire usage des formules complexes de la théorie de l'élasticité.

Quant aux formules relatives aux corps cylindriques tournants (équations différentielles I, équations II et équations III), elles donnent, en général pour R_1 et Φ_2, des expressions qui dépendent de la valeur de $\frac{\lambda}{\mu}$, et nous croyons utile d'indiquer ici les expressions de λ et μ en fonction des coefficients E et G d'élasticité de flexion et de torsion, ce sont :

$$E = \frac{3\lambda + 2\mu}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}$$

$$G = \mu.$$

(*) Nous ferons observer, pour vérification, que ces équations sont identiques avec les deux premières des équations (d) dans lesquelles on fait $\omega = o$.

NOTE

SUR LES MACHINES A VAPEUR

DESTINÉES A ÉLEVER L'EAU

DANS LES CHEMINS DE FER,

PAR M. CHAVÈS.

Cette note a pour but de reprendre, à l'aide d'éléments nouveaux, les comparaisons qui ont fait l'objet de notre précédente communication, sur les petites machines à vapeur destinées à élever l'eau nécessaire à l'alimentation des trains dans l'exploitation des chemins de fer.

Nous y présentons, en outre, quelques nouvelles considérations, en réponse aux objections qui avaient été faites à notre première communication.

I

Comparaison des travaux produits par la combustion d'un kilogramme de charbon, dans une machine fixe, et dans une machine locomobile, des systèmes déterminés ci-après :

La machine fixe en question, ayant une force nominale de 4 chevaux; un cylindre SANS ENVELOPPE DE VAPEUR, *à détente variable réglée momentanément au 1/5, fonctionnant à une vitesse de 20 à 30 tours par minute, et un générateur à deux bouilleurs ou à deux réchauffeurs latéraux de 6^{m},2 de surface de chauffe totale, placé à une distance de 5 à 6 mètres du moteur.*

La machine locomobile comparée, ayant une force nominale de 6 chevaux; un cylindre à détente invariable aux 4/5 environ, fonctionnant à une vitesse de 100 à 110 tours par minute, un générateur tubulaire horizontal de 8^{m},60 de surface de chauffe, fixé à peu près immédiatement au moteur.

1. Dans notre première note sur ce même sujet, nous étions arrivé, par suite d'observations directes sur les quantités d'eau élevées à une même

hauteur moyenne par un certain nombre de machines de chacune des espèces ci-dessus définies, et par des considérations sur le rendement particulier de chacune des parties principales de ces machines, à ce résultat, que, pour une même quantité de combustible dépensée, la machine locomobile produisait un travail, qui était 1.55 fois plus grand que celui produit par la machine fixe comparée.

Dans le courant de la discussion à laquelle ces résultats ont donné lieu, quelques membres de la Société ont bien voulu nous engager à poursuivre notre étude, à l'aide d'observations faites à l'indicateur de Watt. Grâce à l'obligeance de M. Nozo, qui a bien voulu mettre son indicateur à notre disposition, nous avons pu recueillir quelques observations de cette nature; nous les joignons à la présente note, et nous allons les discuter au point de vue de notre comparaison de machines.

Nous commencerons par examiner ce que devient, dans chaque cylindre à vapeur, la tension que possédait la vapeur dans la chaudière. Nous comparerons ensuite les rendements en travail de la vapeur utilisée dans chacun de ces cylindres, puis les rendements de ces cylindres, par rapport aux quantités de vapeur qui leur sont livrées par les chaudières, et enfin les rendements des chaudières, par rapport à la quantité de combustible qu'elles consomment.

RENDEMENT EN PRESSION DES CYLINDRES COMPARÉS.

2. La première série de diagrammes, portant les numéros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, est relative à une machine locomobile de 6 chevaux, à détente invariable aux 4/5 environ.

Les diagrammes numéros 1, 2, 3, 4, 5, 6, montrent que la pression de la vapeur s'est conservée exactement la même dans le cylindre que dans la chaudière; et de plus, que la vapeur s'est échappée du cylindre, avec une tension très-sensiblement égale à celle de l'atmosphère.

Les diagrammes, numéros 7 et 8, seuls, accusent une contre-pression légèrement supérieure à celle de l'atmosphère (de $0^{at},05$ environ); mais, d'autre part, dans ces mêmes diagrammes, la pression générale au cylindre a été trouvée un peu supérieure à celle de la chaudière, ce qui ne nous paraît pouvoir être attribué qu'à une erreur d'indication, ou à un défaut de sensibilité du manomètre à vapeur employé.

Les diagrammes numéros 9, 10, 11 et 12, sont relevés sur la machine fixe de 4 chevaux, avec robinet de prise de vapeur ouvert complétement en plein.

Ces derniers diagrammes montrent que la vapeur était introduite dans le cylindre à une pression moindre que celle qu'elle avait dans la chaudière; et que, de plus, cette vapeur s'échappait du cylindre avec une pression notablement supérieure à celle de l'atmosphère.

La machine était d'ailleurs en bon état.

Le tableau suivant résume les observations fournies par ces derniers diagrammes :

PERTES DE VAPEUR A L'ADMISSION ET A L'ÉCHAPPEMENT.

NUMÉROS des diagrammes.	CHAUDIÈRE. — Pression en atmosphère.	CYLINDRE. — Pression en atmosphère.	PERTE de pression à l'admission.	PERTE de pression à l'échappement. — Quantité en sus de l'atmosphère.	OBSERVATIONS.
	atm.	atm.	atm.	atm.	
N° 9	4,7	4,3	0,4	0,17	Toutes ces pressions correspondent au robinet de prise de vapeur, ouvert en plein.
10	3,2	2,9	0,3	0,12	
11	3,9	3,6	0,3	0,12	
12	3,8	3,5	0,3	0,15	

Nous notons que les pertes ont lieu, le robinet de prise de vapeur ouvert en plein, car avec ce robinet ouvert à moitié seulement, la perte au cylindre pour une pression de $3^{at},5$ seulement à la chaudière s'élèverait à $0^{at},7$, ainsi que le montre le diagramme n° 13.

Il résulte de ces observations manométriques :

1° Que pour une même pression de vapeur de 5^{at} à la chaudière, la vapeur serait admise au cylindre de la machine locomobile, à la même tension de 5^{at}, et au cylindre de la machine fixe, à une tension de $4^{at},6$;

2° Que cette vapeur s'échapperait du cylindre locomobile, à la pression atmosphérique, et du cylindre fixe, avec un excédant de $0^{at},15$ environ.

Dans la précédente discussion, il avait été cité une observation de laquelle résulterait que la perte à l'admission pourrait être attribuée à une déperdition de chaleur par le tuyau adducteur de vapeur, perte qu'on pourrait conjurer en grande partie à l'aide de dispositions très-simples, telles que d'envelopper ce tuyau d'un mastic dit plastique, lequel est, sinon un isolant, du moins un mauvais conducteur de la chaleur.

A ce sujet, nous avons relevé les diagrammes numéros 14, 15 et 16 sur la même machine fixe que précédemment, mais avec cette seule différence, que nous avions retiré préalablement du tiroir les glissières qui servent à la détente.

Ces diagrammes donnent les résultats suivants :

Pour une pression à la chaudière, de $2^{at},25$; pression au cylindre, $2^{at},20$
— — 3 ,30 — 3 ,20
— — 3 ,50 — 3 ,40

Ainsi donc pour $3^{at},5$ de pression à la chaudière, nous n'avons à l'ad-

mission qu'une perte de $0^{at},1$, tout au plus, tandis qu'avec la détente, diagrammes numéros 10 et 12, pour une pression moyenne de $3^{at},5$ à la chaudière, nous n'obtenons au cylindre que $3^{at},2$ en moyenne, c'est-à-dire $0^{at}.3$ de perte.

Donc, la perte constatée à l'admission, ou du moins la majeure partie de cette perte, ne provient pas d'un refroidissement dans le tuyau de vapeur; et c'est tout au plus si l'on peut attribuer, dans l'expérience citée, une perte de $0^{at},1$ au plus, aux influences réunies, du tuyau de vapeur et du tiroir ordinaire fonctionnant sans détente.

3. *Observations sur la forme des diagrammes à l'origine.* — Nous ferons remarquer les formes que présentent comparativement ces diagrammes, à l'origine de l'admission.

Tous les diagrammes sur la locomobile portent à l'origine une pointe ou crochet, qui accuse une pression au cylindre, supérieure même à celle de la chaudière.

Tous les diagrammes pris sur la machine fixe, au contraire, présentent une dépression marquée, même sur la pression générale d'introduction, qui est déjà inférieure à celle de la chaudière.

Nous pensons que l'on pourrait bien voir dans cette indication la preuve, en quelque sorte, prise sur le fait, que dans le cylindre fixe à détente il y a eu condensation de vapeur, au moment où l'admission vient de commencer, tandis que dans le cylindre locomobile, la vapeur qui afflue de la chaudière ne perd rien de sa force élastique initiale.

TRAVAUX DÉDUITS DES DIAGRAMMES.

4. *Comparaison des travaux produits dans les cylindres, pour un même volume de vapeur utilisé.* — Nous prendrons pour types de comparaison des travaux effectués dans les cylindres, les diagrammes qui nous ont paru mériter le plus de confiance, relativement aux circonstances particulières de l'observation, et qui sont : le n° 1 pour la machine locomobile, et le diagramme n° 9 pour la machine fixe; ce dernier relevé à la plus haute pression que permissent les conditions particulières de marche de la machine.

Le cylindre de la machine qui a donné le diagramme n° 1, a : $0^{m},150$ de diamètre, sur $0^{m},300$ de course; celui de la machine du diagramme n° 9, a : $0^{m},240$ de diamètre, sur $0^{m},550$ de course.

Nous estimerons les travaux produits, à l'aide des surfaces des diagrammes, dont nous considérerons les bases comme représentant les courses des pistons des cylindres à vapeur, et les hauteurs comme représentant des atmosphères et fractions d'atmosphères.

Les produits de ces surfaces par les carrés des diamètres des cylindres nous donneront évidemment des quantités proportionnelles aux travaux produits dans les cylindres.

Nous admettrons que la fraction de course à pleine pression indiquée par le diagramme représente bien la détente.

La correction qu'il y aurait généralement lieu de faire à cette interprétation se trouve compensée, du moins en grande partie, par cet incident des expériences, que les diagrammes sur machine fixe se trouvent tous un peu écourtés vers la fin de la course, par suite d'une position obligatoire et défectueuse de l'indicateur, qui ne permettait pas au fil de se mouvoir bien parallèlement à lui-même.

Cette réduction de longueur du diagramme n'a d'ailleurs pas grande importance au point de vue de l'exactitude du diagramme même, car elle ne porte que sur $1/20^{mo}$ environ de son développement.

Et en tout cas, si ces deux erreurs ne se compensaient pas exactement, la différence ne pourrait être qu'en faveur du travail de la machine fixe, dans les comparaisons que nous allons faire.

Nous aurons ainsi :

$$T\,(Loc.) = const. \times 0.75\,(D = 0.15)^2$$
$$T'\,(Fixe) = const. \times 0.52\,(D' = 0.24)^2$$

Mais le travail de la locomobile se rapporte à une pression de vapeur, dans la chaudière, de $3^{at},6$, tandis que le travail de la machine fixe correspond à une pression de $4^{at},7$, à la chaudière.

Pour rétablir l'égalité de conditions, il faudra transformer le premier de ces travaux, proportionnellement aux pressions $4^{at},7$ et $3^{at},6$, ce qui peut se faire sans erreur sensible, puisque le cylindre locomobile ne détend presque pas.

Nous aurons ainsi :

$$T\,(Loc.) = 1.07\,D^2 \times const.$$

et alors en effectuant le calcul, nous aurons :

$$T\,(Loc.) = const. \times 241$$
$$T\,(Fixe) = const. \times 300$$

Ces travaux se trouvent avoir été produits par un même *volume utilisé* de vapeur dans le cylindre, car on a dépensé par coup :

Pour la machine locomobile :	$\frac{1}{2}$ cylindrée $= 4^l.25$	$4^l.75$
—	espaces nuisibles $= 0.50$	
Pour la machine fixe :	$\frac{1}{2}$ cylindrée $= 3^l.43$	$4^l.78$
—	espaces nuisibles $= 1.35$	

Soit dans les deux cas, $4^l.80$ à fort peu près pour les *volumes utilisés*.

Mais quels sont les volumes de vapeur que les chaudières ont dû livrer dans chaque cas, pour fournir ces volumes utilisés dans les cylindres? C'est ce qui résultera des considérations du chapitre suivant.

II

Rendement des cylindres à vapeur comparés. Rapport du volume dépensé au volume utilisé.

5. Dans nos premières expériences, nous avons déduit d'observations directes sur les deux machines comparées, que les rapports des volumes *réellement dépensés* (V'), aux volumes (V) *engendrés par les pistons pendant l'admission à pleine pression*, étaient les suivants :

$$\text{Pour machine locomobile : } \frac{V'}{V} = 1.05,$$

$$\text{— fixe : } \frac{V'}{V} = 2.10.$$

Objections faites dans la discussion précédente.

Le second de ces nombres nous a été contesté; on nous a dit en substance : « qu'en calculant le volume de vapeur livré aux machines, à « l'aide de l'eau alimentaire, nous avions attribué aux machines une « perte considérable, provenant de l'eau vésiculaire entraînée mécani- « quement par la vapeur. »

Un autre membre a ajouté :

« Que notre rapport $\frac{V'}{V} = 2.10$ devait être erroné, attendu que la « condensation intérieure des cylindres à vapeur a été trouvée, d'après « les nombreuses expériences faites par des ingénieurs habiles, de 25 à « 30 p. 0/0 du volume de vapeur fourni à la machine, et qu'il fallait attri- « buer notre chiffre à des pertes de vapeur par le piston ou le tiroir. » (Bulletin, avril, mai, juin 1862.)

Nous allons essayer de répondre à ces deux objections. Mais auparavant, et afin de bien fixer les idées sur la valeur des résultats d'expériences dont nous nous servons, nous dirons un mot des circonstances dans lesquelles ces résultats ont été obtenus.

Les expériences avaient pour but le règlement d'une fourniture importante de machines à vapeur, dont l'une avait été choisie comme type, et préparée à cet effet.

Les épreuves ont été faites sous la direction de trois notabilités de la science et de la construction. Elles ont eu une durée de trois jours consécutifs, pendant 10 heures chaque jour; et les attachements des observations étaient tenus contradictoirement par 3 aides, du nombre desquels nous nous trouvions, chargé en outre d'en dresser les procès-verbaux.

Les résultats des expériences ont été trouvés pleinement satisfaisants;

mais il n'en est pas moins vrai qu'il a été reconnu après coup, que, par suite d'une erreur dans la construction des carneaux, on avait marché tout le temps avec de la vapeur plus ou moins surchauffée dans le générateur.

Cette circonstance a dû avoir pour effet de débarrasser plus ou moins complétement la vapeur de son eau vésiculaire; et elle nous a paru de nature à nous permettre de ne pas tenir compte de cette complication dans nos calculs de rendement.

Mais cherchons néanmoins quelle eût pu être l'importance de cette eau vésiculaire.

Recherches sur l'importance de l'eau vésiculaire.

6. Pour répondre à cette question, nous ferons un emprunt aux Bulletins si riches de la Société de Mulhouse (année 1860).

A l'occasion d'un concours de chaudières à vapeur, on a fait des recherches sur les quantités d'eau entraînées; et à cet effet, on a employé plusieurs procédés, que nous allons rappeler très-sommairement, en en indiquant les résultats.

L'un de ces procédés a consisté à faire passer la vapeur par un vase, où on lui faisait changer brusquement de direction, afin de lui faire déposer en route l'eau entraînée.

La chaudière expérimentée était un générateur mixte, analogue à celui de MM. Molinos et Pronnier.

L'expérience a donné pour poids de l'eau vésiculaire : 1 1/4 p. 0/0 du poids de vapeur.

Par un autre procédé on amenait la vapeur dans un vase plein d'eau, dit calorimètre, et où la vapeur venait se condenser. On pesait ensuite, et par un calcul assez simple, on en déduisait le poids de l'eau entraînée.

Voici les résultats qu'a donnés ce procédé :

1° Sur une chaudière mixte de M. Prouvost :

1 expérience a donné pour poids d'eau vésiculaire : 16 p. 0/0;

5 expériences ont donné des qnantités d'eau vésiculaires, variant de 3,3 à 3,7 p. 0/0, et en moyenne : 3,56 p. 0/0;

2° Sur une chaudière mixte de MM. Molinos et Pronnier :

2 expériences ont donné pour poids proportionnel d'eau vésiculaire : 12 p. 0/0;

20 autres expériences ont donné de 1,6 p. 0/0 à 6,8 p. 0/0, moyenne : 3,81 p. 0/0;

3° Sur une chaudière verticale tubulaire de M. Zambeaux :

1 expérience a donné : 6,9 p. 0/0;

2 expériences ont donné : 2,55 p. 0/0, moyenne : 4 p. 0/0.

En défalquant de ces résultats ceux qui présentent un caractère ex-

ceptionnel, comme 12 à 16 p. 0/0 obtenus dans trois expériences, il reste une quantité de : 3,8 p. 0/0 pour l'eau vésiculaire, en moyenne de 28 expériences.

La moyenne générale est de 4,4 p. 0/0.

On a bien encore employé un autre procédé de jaugeage, qui consistait à dissoudre du sel marin dans l'eau de la chaudière; et admettant que l'eau vésiculaire seule en entraînait, on mesurait à certains moments la richesse de l'eau restante.

Mais quelque confiance que puisse paraître mériter ce procédé, ses résultats n'y ont nullement répondu.

« Les chiffres auxquels nous sommes arrivés, dit l'expérimentateur, « *n'ont aucune signification;* car, dans plusieurs cas, nous avons obtenu « des valeurs négatives. » (Page 151, n° de mars 1860, Mulhouse.)

Nous pensons avoir montré :

1° Que dans notre machine fixe, la vapeur étant surchauffée, il ne devait pas s'y trouver une quantité notable d'eau entraînée par la vapeur;

2° Qu'en tout cas, les procédés connus pour effectuer ce jaugeage n'accusent que des quantités d'eau tout à fait insignifiantes, négligeables même dans notre comparaison;

3° Enfin, que rien ne prouve que ces quantités ne soient pas en égale proportion dans les machines fixes et dans les machines locomobiles;

Et que, par conséquent, nous avons pu négliger le phénomène de l'eau vésiculaire, sans erreur pratiquement sensible, pour nos comparaisons.

III

Discussion du rapport $\frac{V'}{V}$, *c'est-à-dire du rapport entre le volume de vapeur fourni par la chaudière, et le volume engendré par le piston, pendant la marche à pleine pression.*

7. Nous avons trouvé que, pour notre machine fixe, ce rapport était égal à 2,1. Ce chiffre a paru exagéré. Nous allons voir que, dans l'opinion contraire émise, la contradiction est plus apparente que réelle.

En effet, nous appelons V le volume engendré à pleine pression; si à ce volume on ajoute celui des espaces nuisibles qui, pour ces petites machines à détente au 1/5, est de : $(5\,V \times 0{,}065)$, soit par seconde, à la vitesse de 31 coups par minute :

$$(5\,V \times 0{,}065) \times \frac{2 \times 31}{60} = 0{,}34\,V.$$

On a déjà pour le *volume utilisé* : 1,34 V.

Et si V′ est le *volume fourni par la chaudière*, dont les 0,30 se condensent à leur entrée au cylindre, on aura enfin :

$$V' = 1{,}34\,V + 0{,}30\,V' = 1{,}91\,V,$$

d'où

$$\frac{V'}{V} = 1{,}91.$$

On voit que ce nombre est fort approché de celui que nous avons trouvé; et encore ne disait-on pas si la proportion de vapeur condensée qu'on indiquait de 0,30 V′ s'appliquait à des machines de même force que la nôtre.

Opinion de M. Combes sur la liquéfaction de la vapeur à son entrée au cylindre.

8. Au surplus, cette inégalité entre V′ et V, dans les cylindres ordinaires sans enveloppe, se trouve indiquée implicitement dans les lignes suivantes empruntées à l'ouvrage de M. Combes, sur l'Épuisement des eaux des mines, page 566.

M. Combes, après avoir parlé des machines de Cornwall, dit que si l'on peut douter de la liquéfaction partielle de la vapeur dans ces machines, il n'en est plus de même quand il s'agit de machines à détente sans enveloppe.

« Le refroidissement du cylindre occasionné, dit-il, par cette vaporisation, » (celle de la vapeur liquéfiée à son entrée au cylindre et vaporisée pendant la période d'expansion) « détermine *une abondante précipitation de vapeur au commencement de la course du piston*, et c'est là « très-vraisemblablement l'une des principales causes, pour lesquelles « *la force élastique de la vapeur dans le cylindre est*, pendant la période « d'admission, *si fort au-dessous* de celle qu'elle avait dans la chaudière. »

La différence que nous avons constatée entre le V′ et le V du cylindre de la machine fixe sans enveloppe n'est pas autre chose que la « *liquéfaction partielle* » dont parle M. Combes, et qui occasionne une « *abondante précipitation de vapeur au commencement de la course du piston.* »

Nous avons également retrouvé par les diagrammes, que dans le cylindre de *notre machine fixe sans enveloppe*, la pression de la vapeur était notablement au-dessous de celle qu'indiquait le manomètre placé sur la chaudière.

9. Quant à notre machine locomobile neuve, pour laquelle nous avons trouvé le rapport $\frac{V'}{V} = 1{,}05$, cela signifierait seulement qu'il n'y avait sensiblement aucune perte de vapeur, car 0,05 V représentent à très-peu

près le volume des espaces perdus; nous pouvons d'ailleurs présenter une confirmation importante de ce dernier résultat, et nous la puiserons dans les Bulletins mêmes de la Société, séance du 17 septembre 1858.

Expérience de M. Nozo, d'où l'on déduit $\frac{V'}{V} = 1{,}00$ *à peu près, pour la locomobile.*

M. Nozo avait expérimenté une machine locomobile de 9 chevaux, ayant les dimensions suivantes :

Diamètre du piston.	210	millimètres.
Course du piston.	320	—

Détente invariable aux $\frac{2}{3}$ de la course du piston.

Nous allons citer textuellement :

« Les essais, disait M. Nozo, ont duré ensemble une journée environ, « de sorte que les résultats peuvent être considérés comme sensiblement « pratiques. Les chiffres ont d'ailleurs présenté une identité assez re- « marquable dans les deux essais.

« Ces chiffres les voici :

« Pression de la vapeur indiquée par le manomètre. . $5^{at},25$
« Nombre de tours par minute 109
« Nombre de chevaux-vapeur, très-approximativement. 9 chevaux.

« En employant pour le chauffage de la houille gailleteuse, on a ob- « tenu les résultats suivants :

« Quantité d'eau vaporisée par kilog. de charbon : $8^{k},8$.
« Charbon consommé par heure et par cheval : $2^{k},8$. »

Ici se termine notre citation; nous déduirons de ces résultats d'observation, les conséquences suivantes :

Volume engendré dans un tour par le piston, $V = 14^{l},7$;
Eau vaporisée par heure : $(2^{k},8 \times 8^{k},8 \times 9^{ch})$, $221^{l},76$;
Volume de vapeur correspondant à $5^{at},25$: $(221,76 \times 372)$ 82,494 litres;
Nombre de tours de la machine par heure : 6540;
Volume de vapeur réellement dépensé par tour, $V' = 12^{l},6$.

Ainsi dans cette expérience, V' ressortirait même inférieur à V —; hâtons-nous de dire que nous n'attribuons cette infériorité apparente qu'à l'une ou plusieurs des petites causes d'erreurs si difficiles à éviter dans ces sortes d'observations, sur le jaugeage de l'eau d'alimentation, *la détente réelle*, la pression manométrique moyenne, etc., etc., d'autant plus, devons-nous ajouter que cette expérience n'avait pas été faite en vue des conséquences que nous venons d'en tirer, bien que ces conséquences résultent rigoureusement des résultats constatés.

Quoi qu'il en soit, il nous sera bien permis de conclure de cette expérience, que V' y a été trouvé peu différent de V.

La machine à détente à 1 cylindre perd sur la machine à 2 cylindres.

10. Nous venons de déterminer la valeur du rapport $\frac{V'}{V}$, dans le cas du cylindre de la machine locomobile, et dans celui de la machine fixe comparée.

Il est intéressant de rechercher ce que devient ce même rapport dans le cas de cylindres à enveloppe de vapeur, appartenant à des machines à détente, soit à un seul cylindre, soit à double cylindre du système Woolf.

Voici à cet égard deux observations :

Expérience sur une machine Woolf de 15 chevaux.

Dimensions : diamètre du petit piston.		320 millim.
course.		686 —
volume.		110 litres.
Observations :		
Durée.		6h 35'.
Charbon brûlé (poussier de houille). . .		235 kilog.
Poids d'eau injecté dans la chaudière. .		1570 —
Nombre de tours. . .	total.	8142.
	par minute. . . .	20t,6.
Poids d'eau vaporisé par 1 kil. de charbon. .		6k,75.
Pression de la vapeur dans la chaudière. . .		3at,56.

Nota. La quantité d'eau injectée a été mesurée pendant 7446 tours, au bout desquels le niveau de l'eau dans la chaudière s'est retrouvé exactement le même qu'au commencement.

Le résultat de ces observations est le suivant :

Volume de vapeur à 3at,56, dépensé par tour. . . .	102 litres.
— — engendré par tour.	110 litres.

Ainsi le petit cylindre Woolf à enveloppe de vapeur donne le même résultat que le cylindre de la locomobile de 9 chevaux, ou en d'autres termes, la disposition de cylindre adoptée dans la machine locomobile donne pour cette machine à grande vitesse et faible détente le même résultat, quant aux refroidissements, que l'emploi de la chemise à vapeur dans le petit cylindre Woolf.

2e *expérience* extraite du cours de M. Tresca, au Conservatoire des arts et métiers.

Machine à détente au 1/15e, à condensation et enveloppe de vapeur.

Dimensions : diamètre du piston.	0m,500
course.	1 ,000
Détente au.	1/15e.
Observations :	
Pression de la vapeur.	5at,50
Nombre de tours par minute.	42
Force de la machine, au frein.	30ch.
Eau consommée par heure et cheval. . . .	10k,63
Conséquences que nous déduisons :	
Eau consommée par heure.	318k,9
Vapeur produite à 5at,5 — 318,9 × 356 litres. . .	113,530 litres.
Nombre de tours par heure.	2520
Vapeur dépensée réellement par tour : V′ =	45 litres.
Volume engendré $\frac{392^{l},4}{15}$ V =	26 litres.
d'où : $\frac{V'}{V}$ =	1,73.

Ce nombre 1,73 comprend les espaces perdus, qui dans ces machines peuvent être évalués à 0,53 V.

IV

Des pertes de pression à l'admission.

11. Nous placerons ici quelques observations sur la forme que nous avons déjà signalée, des diagrammes, à l'origine de l'admission dans le cylindre fixe et dans le cylindre locomobile.

Au premier instant où la vapeur est admise dans le cylindre, il doit se produire ce que M. Combes nomme une *précipitation abondante*, et d'autant plus abondante, que les surfaces du piston, du couvercle du cylindre, et de la paroi cylindrique que vient toucher la vapeur, auront été plus refroidies avant l'admission.

Il semble évident *à priori*, que la plus grande partie des condensations de vapeur qui doivent se produire auront lieu à ce même premier moment, si ce n'est la condensation inhérente à la détente qui va suivre.

Or la vapeur, qui afflue en ce moment de la chaudière, est lancée avec une vitesse correspondant à la différence des pressions au départ et à l'arrivée, ce qui constitue une puissance vive, mais cette puissance vive de la vapeur qui arrive sur le piston, au point mort, s'y annule en un choc impuissant, c'est un travail complétement perdu.

Dans la machine locomobile, où la vapeur ne perd pas de sa pression, le piston de l'indicateur est lancé, soit par suite de ce choc, soit par suite de la force expansive de la vapeur.

Mais dans la machine fixe où la vapeur se condense, à son entrée au cylindre, l'indicateur n'a plus trace de ce choc, qui a d'ailleurs pu être déjà amorti par le passage de la vapeur dans des orifices plus ou moins étranglés.

Ces pertes de travail de la vapeur doivent évidemment correspondre à des pertes, ou, ce qui revient au même, à un excédant de dépense de chaleur dans la chaudière.

Nous pensons qu'on peut leur appliquer ce que dit M. Laboulaye, au sujet de la chaleur perdue pendant la marche du piston.

« Le travail à pression pleine, bien que n'étant pas manifesté dans la « pratique par un abaissement sensible de la température de la vapeur « qui entre dans le cylindre, et qui n'est qu'une petite fraction de la va- « peur totale renfermée dans la chaudière, consomme une quantité de « chaleur considérable, effet que le réchauffement incessant du combus- « tible empêche d'apercevoir. »

(Tome I, des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, page 551.)

V

Travaux dus à une même quantité de vapeur dépensée dans les deux machines comparées.

12. Reprenons actuellement nos résultats comparatifs sur les travaux produits par un même volume de vapeur utilisé.

Nous avons déduit des diagrammes les nombres suivants :

1° Machine fixe : $T_F = \text{const.} \times 300$

2° Machine locomobile : $T_L = \text{const.} \times 241$

Le volume utilisé qui a produit ces travaux étant de $4^l,80$ très-sensiblement dans les deux cas.

Dans la locomobile, le volume utilisé est le seul dépensé; donc, sous ce dernier point de vue, le travail sera encore :

$$T_L = \text{const.} \times 241.$$

Mais pour la machine à détente, il faudra ajouter, au volume utilisé, une perte par condensation, telle, que le volume dépensé = 2,1 fois le volume engendré.

$$V' \text{ (volume dépensé)} = 2,1\ V \text{ (volume engendré} = 3^l,43),$$

d'où $$V' = 7^l,20.$$

Par conséquent les travaux produits dans les deux cas, pour un même volume de vapeur dépensé, seront :

$$\text{Pour machine locomobile : } T_L = \text{const.} \times \frac{241}{4,8} = 50,2;$$

$$\text{Pour machine à détente : } T'_F = \text{const.} \times \frac{300}{7,2} = 41,70;$$

et le rapport de ces travaux sera :

$$\frac{T_L}{T_F} = \frac{50,2}{41,7} = 1,2.$$

Première vérification du rapport $\frac{T_L}{T_F} = 1,2.$

13. Nous avons été conduit à ce résultat par la considération des diagrammes, mais il est au moins intéressant de comparer à ces chiffres ceux que nous pourrions obtenir à l'aide de la formule du travail à détente, dans laquelle évidemment nous devrons introduire les relations de pression que nous ont fait connaître les observations manométriques, c'est-à-dire, pour 5 atmosphères à la chaudière :

1° pour la locomobile	Pression au cylindre.	1° à l'admission. . . .	5^{at}.
		2° à l'échappement. .	1^{at}.
2° pour la machine fixe	Pression au cylindre.	1° à l'admission. . . .	4,65.
		2° à l'échappement. .	1,15.

Nous prenons la perte de pression, à l'admission au cylindre fixe

$$= \left(\frac{0^{at},4 + 0^{at},3}{2}\right) = 0^{at},35,$$

pour tenir compte de ce que la dépression de 0^{at},4 n'a été observée que sur un seul diagramme, bien que ce fût en rapport avec la pression de la vapeur dans la chaudière.

Nous aurons ainsi :

$$T_L = \text{const.} \times 5\ (1 + 0,22 - \frac{1}{5}\,1,25) = \text{const.} \times 4,80 \quad (m).$$

$$T_F = \text{const.} \times 4,65\,(1 + 1,946 - \frac{1,15}{4,65}\,75) = \text{const.} \times 5,65 \quad (n).$$

Nous nous arrêterons un instant sur ces chiffres :

le rapport : $$\frac{T_F}{T_L} = \frac{5,65}{4,80} = 1,177,$$

a lieu pour un même volume de vapeur dépensé, dans les deux cas.

Or les diagrammes avaient donné dans ces conditions :

$$\frac{T_F}{T_L} = \frac{300}{241} = 1,249.$$

C'est donc une différence de 6 p. 100 seulement entre les deux résultats,

celui donné par le diagramme en considérant les volumes de vapeur utilisés, et celui donné par la formule, mais en ne considérant que les volumes engendrés, c'est-à-dire en faisant abstraction des espaces perdus; la formule théorique devenant ainsi en quelque sorte une formule empirique, mais qui donne des résultats très-rapprochés de la vérité.

Introduisons dans la relation $[m]$, $[n]$, la considération des dépenses relatives de combustible, c'est-à-dire la considération des volumes réellement dépensés (V'), nous aurons alors :

$$\text{T. (Loc.)} = \text{const.} \times \frac{4{,}80}{4^{l},80} = 1{,}00,$$

$$\text{T. (Fixe.)} = \text{const.} \times \frac{5{,}65}{7^{l},20} = 0{,}784,$$

dont le rapport est : $\dfrac{\text{T. (Loc.)}}{\text{T. (Fixe.)}} = \dfrac{1{,}00}{0{,}79} = 1{,}275.$

Les diagrammes ont donné. . . . . = 1,20.

On voit que la différence est peu considérable, et que l'on peut regarder le second de ces nombres comme vérifié.

VI

Vérification de la formule ordinaire du travail à détente, dans un cylindre non enveloppé de vapeur.

14. Nous venons de toucher à une question très-intéressante, celle de savoir quel degré de confiance mérite, pratiquement, la formule ordinaire du travail à détente.

En raison de cet intérêt, nous placerons ici une expérience que nous avons faite sur le même sujet, et qui d'ailleurs n'est pas étrangère à la question que nous traitons, car elle nous servira dans nos conclusions finales.

Nous avons fait deux observations à peu près consécutives sur une même machine fixe de 4 chevaux, à détente variable, avec un seul cylindre, non enveloppé de vapeur.

Cette machine servant dans les deux cas à conduire une même pompe, élevant l'eau aux mêmes réservoirs.

Première observation. Durée totale.	$4^{h},30'$.
Introduction de vapeur, pendant une fraction de course, de	$\dfrac{0^{m},52}{0^{m},55}$.
Pression de la vapeur dans la chaudière. .	$3^{at},42$.
Nota. Quantité d'eau alimentaire dépensée.	486 kilog.
Nombre de tours. . total.	4123
Nombre de tours. . par heure.	916

d'après la formule ordinaire du travail à détente, on a : pour le travail par tour,

$$Tm = \text{const.} \times 1{,}298.$$

Deuxième observation. Durée. . . . . 3ʰ,56′.

Détente à. . . . . $\frac{0^{m},125}{0,55}$.

Pression de la vapeur dans la chaudière. . 6ᵏᵍ,25.

Nombre de tours. . { total. . . . . 4510.
par heure. . . . . 1147.

Nota. Poids d'eau vaporisée. . . . . 350 kilog.

D'après la formule ordinaire du travail à détente, on a :

$$T'm = 1{,}336 \times \text{constante},$$

Tm, $T'm$ étant calculés à l'aide des volumes engendrés par le piston, comme dans la formule ordinaire.

Or, les travaux résistants, par tour, devaient être sensiblement égaux dans les deux cas, puisque la machine conduisait la même pompe, élevant l'eau à la même hauteur, ou à fort peu près,

la formule nous a donné : $\frac{T'm}{Tm} = 1{,}03$,

elle a donc donné un rapport exact à 3 p. 100 près; mais même à moins encore près, car dans la seconde observation, la vitesse de l'eau, et par suite les frottements dans le tuyau de refoulement étaient plus grands que dans la première, et donnaient un accroissement de travail d'environ 1 p. 100, qui vient encore en déduction de la différence observée.

La formule ordinaire du travail à détente a donc encore donné un rapport pratiquement exact du travail produit; le surplus est l'affaire du coefficient dont on affecte habituellement les résultats.

Remarquons en outre, dans les poids d'eau réellement dépensés, que nous avons notés, que l'influence de l'élévation de la pression de la vapeur et celle de l'augmentation de la détente ont eu pour conséquence immédiate d'abaisser la dépense de vapeur par tour, de 0ᵏ,118 à 0ᵏ,078, soit une économie de combustible de 34 p. 100.

Cette expérience montre donc encore qu'il y a un grand avantage, au point de vue de l'économie de combustible, à employer une plus grande détente et une plus haute pression.

Mais elle montre en outre, aussi, que l'économie que l'on obtenait par l'emploi simultané de ces deux moyens était bien moindre en réalité, qu'on n'eût été tenté de la supposer par les considérations théoriques seules.

Et en effet, l'économie réellement obtenue n'est que de 34 p. 100, tandis que théoriquement, elle aurait dû se trouver proportionnelle, non

aux volumes de vapeur réellement dépensés, mais aux volumes engendrés par les pistons, et par suite, être de :

$$\frac{0^m,52 - 0^m,125}{0^m,52} = 76 \text{ p. } 100.$$

VII

15. Nous venons d'arriver par deux voies déjà, celle de la considération des diagrammes relevés et celle de la formule à détente, à la détermination du rapport :

$$\frac{\text{T. (Loc.)}}{\text{T. (Fixe.)}}.$$

Deuxième vérification du rapport $\frac{\text{T. (L.)}}{\text{T. (F.)}} = 1,2.$

Mais que l'on nous permette de reprendre encore la démonstration de ce rapport à l'aide de considérations d'une nature toute différente.

Revenons aux résultats des expériences officielles faites sur notre machine de 4 chevaux, et sur la locomobile de 9 chevaux de M. Nozo.

Dans les expériences sur la machine fixe, il a été trouvé :

Poids d'eau injecté dans la chaudière, par heure. . .	127 kilog.
Pression de la vapeur dans la chaudière.	$5^{at},7$,
Force développée, mesurée au frein.	$4^{ch},11$,

Dans l'expérience sur la locomobile :

Poids d'eau injectée par heure et par cheval.	$24^k,60$,
Pression moyenne de la vapeur.	$5^{at},25$.

Dans la machine fixe, l'eau alimentaire était prise dans une bâche ouverte à sa partie supérieure, et dans laquelle on faisait arriver tantôt de l'eau froide, tantôt de l'eau réchauffée par la vapeur d'échappement.

La température de cette eau n'a pas été mesurée, mais elle a peu d'importance dans notre calcul, nous la supposerons approximativement de 40°; chiffre déjà constaté, d'ailleurs, dans des circonstances tout à fait semblables.

Dans la machine locomobile, l'eau était à la température de l'atelier où se faisaient les épreuves; nous supposerons, dans ce cas, l'eau alimentaire à la température de 18°.

Mais, nous le répétons, l'exactitude de ces chiffres a fort peu d'influence sur les résultats définitifs des calculs qui suivent.

Calcul de la chaleur dépensée par la machine fixe :

La température de la vapeur à $5^{at},7$ étant de 158^0, on a donc consommé, par heure, d'après la formule de M. Regnault :

$$127^k (606,5 \times 0,305 \times 158^0 - 40) = 78,067 \text{ calories},$$

on a produit, par heure également, un travail utile de :

$$4^{ch},11 \times 75^{km} \times 3600 = 1,109,700 \text{ kilogrammètres},$$

soit par calorie sortie de la chaudière, $14^{km},2$.

Calcul de la chaleur dépensée par la locomobile :

La température de la vapeur à $5^{at},25$ étant de 155^0 environ, on a consommé par heure et par cheval :

$$24^k,6 (606,5 \times 305 \times 155^0 - 18) = 15,641 \text{ calories}.$$

Travail utile produit par heure et par cheval :

$$3600 \times 75^{km} = 270,000 \text{ kilogrammètres},$$

soit par calorie. . . . . $17^{km},2$.

Donc pour une même quantité, de 1 calorie, sortie de la chaudière dans les deux cas, on a produit des travaux qui sont entre eux dans le rapport de :

$$\frac{\text{T. (Loc.)}}{\text{T. (Fixe.)}} = \frac{17^{km},2}{14^{km},2} = 1,21.$$

16. Nous avions trouvé déjà pour la valeur de ce même rapport :

1° par les diagrammes. 1,20,

2° par la formule du travail à détente. 1,275,

et nous venons de trouver en dernier lieu, par la comparaison des travaux rendus sur l'arbre de la machine, par chaque calorie sortie de la chaudière :

3° . . . . . 1,21.

Nous pouvons donc regarder ce rapport comme égal à 1,20, ainsi que nous l'avons déjà admis, en considérant une locomobile de 6 chevaux.

VIII

Comparaison des rendements en vapeur, des chaudières comparées.

17. Dans notre précédente note, nous avons donné les résultats suivants de nos expériences :

1° 13 expériences sur chaudières fixes, de 3 à 6 chevaux ;

Pour 1 kilogramme de charbon : $4^k,8$ de vapeur;

2° 9 expériences sur chaudières locomobiles, 1 de 6 chevaux, 8 de 3 chevaux;

Pour 1 kilogramme de charbon : 6^{k},70 de vapeur.

Ces chiffres ont été contestés.

Un membre de la Société a dit : Que dans les expériences faites à Mulhouse on avait trouvé pour les chaudières à bouilleurs : 6^{k},70 de vapeur, et pour les chaudières tubulaires : 7^{k},70, d'où résulterait que l'avantage en faveur de la chaudière tubulaire serait moindre que celui que nous avons indiqué.

Nous allons essayer de répondre à cette objection; mais d'abord que l'on nous permette de dire les conditions qui nous semblent nécessaires, pour que les résultats d'expériences de cette nature soient comparables entre eux.

Conditions de comparabilité des résultats d'expériences.

1° Il faut que les forces des chaudières comparées soient peu différentes, et même que leurs surfaces de chauffe, proportionnelles aux forces à produire, ne présentent pas trop d'écart. En effet :

La chaudière de notre machine Woolf de 15 chevaux vaporisait 6^{k},75 d'eau par 1 kilogr. de poussier, quand avec le même combustible nos chaudières de machines de 4 chevaux, d'un système identique, ne produisaient que 4^{k},8 à 5 kilogr. de vapeur.

Et la chaudière de cette même machine de 4 chevaux, en expériences officielles, produisait 6^{k},35 de vapeur, quand la force à laquelle elle marchait correspondait à 1$^{m^2}$,55 par cheval, et seulement 5^{k},77, quand cette surface de chauffe proportionnelle n'était plus que de 1$^{m^2}$,18.

2° Il faut que les expériences soient faites dans des circonstances aussi identiques qu'il est pratiquement possible.

Ainsi notre chaudière de 4 chevaux en expériences officielles donnait 6^{k},35 de vapeur, et seulement 4^{k},8 à 5 kilogr. en service ordinaire.

De même, la locomobile expérimentée par M. Nozo donnait 8^{k},8 en expériences officielles, quand nous n'en obtenons que 7 kilogr. en service ordinaire.

Et les expériences officielles ne diffèrent pas seulement du service ordinaire par la qualité du combustible employé, mais encore par les soins qu'on y apporte et par nombre d'autres circonstances.

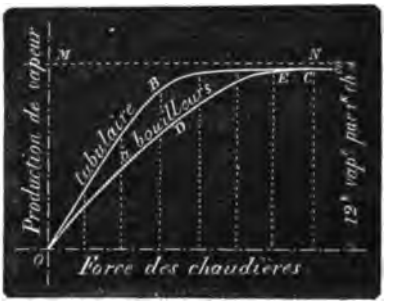
Et maintenant pour ce qui est des résultats de vaporisation obtenus à Mulhouse, nous ajouterons que pour que ces résultats pussent être comparés aux nôtres, il aurait fallu que les chaudières de Mulhouse fussent de même force que les nôtres.

On conçoit, en effet, que puisque :

D'une part, les chaudières d'un même système produisent d'autant plus de vapeur qu'elles sont plus fortes, ce qui est analogue à ce qui se

passe dans les machines, où le coefficient de rendement croît avec la force des machines;

Et que, d'autre part, la production des chaudières est limitée à une production idéale de 12 kilogr. de vapeur, élevés à 5at, par 1 kilogr. de charbon de 7500 de capacité calorifique, et que tous les perfectionnements possibles ne peuvent avoir pour effet que de faire approcher de cette production;



D'où il résulte que la loi que suivent ces productions pourrait être représentée graphiquement par des lignes partant d'un point commun (O) correspondant à une surface de chauffe nulle, puis arrivant, pour une certaine force de chaque espèce de chaudières, à une production plus ou moins approchée de 12 kilogr., et à partir de cet instant (E), se confondant sensiblement avec une certaine parallèle à MN, asymptote qu'elles ne peuvent rencontrer pour des surfaces de chauffe finies.

On conçoit bien, pensons-nous, que le rapport des productions de vapeur de la chaudière tubulaire et de la chaudière ordinaire doive aller en diminuant, à mesure que leur rendement augmente, soit par l'accroissement simultané de leur force, soit par leurs perfectionnements simultanés, soit même seulement par suite de l'usage, dans les deux cas, de combustibles de meilleure qualité.

Or, au concours de Mülhouse, on expérimentait sur des chaudières de 45 chevaux de force, et les nôtres n'étaient que de 3 à 4 chevaux, et exceptionnellement de 6 chevaux. Il y a donc déjà là une raison de non-comparabilité qui nous paraît suffisante.

18. Néanmoins nous demanderons la permission de présenter quelques observations sur la nature des résultats qu'on a obtenus au concours de Mulhouse.

La Société de Mulhouse avait provoqué un concours de chaudières, dont le programme contenait notamment les articles suivants.

Il était dit : que le système proposé pourrait être quelconque, pourvu que son emploi fût simple et pratique, et n'exigeant pas de nettoyages fréquents et difficiles.

A ces conditions, on accordait :

1° Une médaille d'or et une somme de 7500 fr. pour chaudière produisant 7k,5 de vapeur par kilogr. de houille de Ronchamp;

2° Une médaille d'argent et 2000 fr., pour une production de 7 kilog. de vapeur;

3° Une médaille d'argent et 500 fr., pour une production de 6k,3/4 de vapeur.

Le concours a eu lieu entre les chaudières suivantes :

Une chaudière Molinos et Pronnier, de 59 mètres carrés de surface de chauffe;

Une chaudière Prouvost, d'un système analogue à la précédente, et 103 mètres carrés de surface de chauffe;

Une chaudière Zambeaux, tubulaire verticale, de 89 mètres carrés de surface de chauffe;

Et enfin une chaudière Dolfus Mieg, à 3 bouilleurs, de 27 mètres carrés de surface de chauffe.

En adaptant successivement chacun de ces générateurs à une machine de 42 chevaux, on a, en effet, obtenu les résultats indiqués, savoir :

Chaudières dites tubulaires : 7k;70 de vapeur;

Chaudière dite à bouilleurs : 5k,70 de vapeur par kilogr. de combustible brûlé.

On cite même des chaudières qui ont donné 7k,28, 7k,68 et jusqu'à 7k,70 de vapeur; mais ce sont alors des chaudières, non plus seulement à 3 bouilleurs, comme la chaudière Mieg, mais des chaudières qui, en outre des 3 bouilleurs, ont encore 2 réchauffeurs, dont l'effet est évalué de 7 à 10 p. 100 de celui de la chaudière.

On conviendra avec nous que ces dernières chaudières, principalement, constituent un type tout spécial, et qui n'a plus rien de commun avec les générateurs à 2 bouilleurs ou 2 réchauffeurs dont nous nous sommes occupé.

Mais quelles sont les chaudières tubulaires du concours? Ce sont d'abord deux chaudières mixtes, et puis une chaudière verticale tubulaire, c'est-à-dire, pour cette dernière, le type qui, dans le genre tubulaire, utilise le moins bien la chaleur.

Certainement la chaudière Zambeaux présente des détails ingénieux de construction, une grande commodité d'installation, ce qui peut bien avoir son prix, et même un très-grand prix dans certains cas donnés; mais elle n'est pas aussi économique que les chaudières tubulaires horizontales, précisément à cause de sa disposition verticale.

Une chaudière de ce genre, de 9 mètres carrés de surface de chauffe, que nous avons eu occasion d'essayer en service ordinaire, nous a donné 6k,5 de vapeur par 1 kilogr. de houille, quand, dans les mêmes circonstances de marche en service, la chaudière tubulaire horizontale de

8,6 mètres carrés de surface de chauffe nous donnait 7 kilogr. de vapeur avec du coke.

Donc, dans cette comparaison, l'un des termes est notablement supérieur, et l'autre notablement inférieur au type ordinaire de son espèce; le résultat obtenu à Mulhouse avait son but spécial, qu'il a parfaitement atteint. Mais ce serait, croyons-nous, le fausser que de lui attribuer une généralisation qu'il ne comporte pas.

Expériences de Mulhouse antérieures au concours.

19. On trouve encore dans les mémoires de la Société de Mulhouse un résultat d'expériences qui nous a paru intéressant pour le sujet qui nous occupe; ce résultat, le voici :

Antérieurement aux expériences qui ont servi à établir les rendements des chaudières du concours, il avait été fait avec beaucoup de soin d'autres observations, qui n'avaient pas duré moins d'une semaine chacune, et dont le but était de « déterminer avec précision » les puissances d'évaporation relatives à diverses espèces de combustibles, brûlés avec des quantités d'air variables.

Or, parmi ces expériences, il se trouve (n° de juillet 1860, pages 329 et 331) deux séries d'observations, ayant « rapport à un générateur qui « donnait exclusivement la vapeur à un moteur se trouvant dans des « conditions analogues à celui qui a servi pour les essais du concours. »

De plus, ce générateur était à 3 bouilleurs, avec surface de chauffe de 27 mètres carrés.

C'était donc le même type de chaudière et dans les mêmes conditions qu'au concours,

Eh bien, en alimentant ce générateur avec un combustible désigné : « sarrebruck très-menu, qualité très-inférieure,» on a obtenu les résultats suivants :

NUMÉROS d'ordre des expériences.	RÉSULTATS OBTENUS par 1 kilog. de charbon brûlé :		OBSERVATIONS.
	Quantité d'air employée.	Quantité d'eau vaporisée.	
N° 1...	13^{mc}	4^{k},51	La quantité d'air employée variait depuis celle qui correspondait au registre ouvert en plein, jusqu'à la moindre quantité possible, qui permît encore à la chaudière de fonctionner.
— 2...	13 ,5	4 ,69	
— 3...	11 ,8	4 ,90	
— 4...	8 ,5	5 ,09	
— 5...	9 ,0	5 ,07	
— 6...	12 ,2	4 ,89	
— 7...	7 ,8	4 ,97	
Moyenne.....		4 ,88	

Ces observations ont donc donné pour rendement moyen : $4^k,88$; et ce chiffre a, du reste, fort peu varié avec les quantités d'air brûlées, puisque pour la moindre (n° 7), il ne s'élève qu'à $4^k,97$, et que pour la plus grande (n° 2), il ne s'abaisse qu'à $4^k,69$.

Ce résultat nous a paru excessivement remarquable, à notre point de vue, en ce sens qu'il apportait une confirmation vraiment inattendue à nos chiffres.

Et, en effet, sans parler de notre chiffre de $4^k,8$, trouvé pour les chaudières à bouilleurs, alimentées de combustibles de toutes espèces, et souvent très-médiocres, nous ferons remarquer seulement que nos chaudières tubulaires de 3 chevaux donnaient un rendement en vapeur de :

1° $6^k,70$ en moyenne de 3 expériences, faites en brûlant un mélange de houille menue et de poussiers qui ne valait probablement pas beaucoup mieux que le « sarrebruck très-menu; »

Et 2° $6^k,65$ en moyenne, de 3 expériences également, faites en ne brûlant plus que des poussiers seulement.

Ces chiffres de $6^k,65$ et $6^k,70$ sont donc tout à fait comparables, aux forces de chaudières près, au chiffre moyen de $4^k,88$, obtenu sur la chaudière du concours dans les expériences précédentes.

Les chaudières tubulaires sont d'autant plus avantageuses que le combustible est de qualité plus inférieure.

Ceci nous fournit l'occasion de remarquer que dans les tubulaires, la puissance de vaporisation ne varie pas bien sensiblement avec la nature du combustible employé; car, notamment en ce qui concerne la machine de 6 chevaux, pour trouver une variation de $8^k,6$ à $7^k,00$, il fallait descendre du combustible *de choix*, employé dans les *expériences de réception* à des *menus coke* ou des poussiers, qui ne valent pas mieux l'un que l'autre, et employés *en service ordinaire*.

Tandis que pour la chaudière du concours, le rendement s'abaissait de $6^k,71$ à $4^k,88$, par la substitution du « sarrebruck très-menu, » au « ronchamp, qualité moyenne. »

D'où l'on peut être conduit à inférer, avec assez de fondement, ce nous semble, que les résultats comparatifs obtenus au concours de Mulhouse eussent pu être fort différents, si l'on eût fait usage de combustibles de médiocre qualité.

Nous bornerons là notre citation, dont nous tirerons cette seule conclusion, que les résultats obtenus à Mulhouse ne nous paraissent pas infirmer les nôtres, par la raison qu'ils ont porté sur des chaudières de forces et de types exceptionnellement différents des nôtres.

Nous allons poursuivre cette étude en citant tous les renseignements que nous avons pu recueillir sur ce même sujet.

20. Rappelons d'abord que nos expériences nous ont donné un avan-

tage de 39 pour 100 en faveur de la chaudière tubulaire horizontale de 3 à 6 chevaux de force, sur la chaudière à deux bouilleurs, ou à deux réchauffeurs de même force; et nous citerons ensuite les expériences suivantes de M. Ferdinand Mathias :

1° 3 expér. sur chaudières à bouilleur de 22^{m2}, ont produit $5^{k},56$ de vapeur,
— — tubulaires, de 70^{m2}, — $8^{k},35$ —

Différence en faveur des tubulaires : 48 pour 100, sous réserve de leur plus grande force;

2° Puis les expériences de M. Nozo, séance de la Société du mois d'octobre 1854 :

1re	série d'expériences;	en faveur de la chaudière tubulaire :	42 0/0
2e	—	—	50 0/0
3e	—	—	30 0/0
		Moyenne.	40 0/0

3° Ajoutons que dans la séance du 20 août 1858, M. Nozo disait que la machine horizontale des ateliers de la Chapelle consommait, par cheval utile et par heure, tantôt $3^{k},2$ de poussier de Charleroy, tantôt $1^{k},6$ du même poussier, selon qu'elle était alimentée par un générateur à bouilleurs de 80^{m2} de surface de chauffe, ou par un générateur tubulaire de 108^{m2} de surface de chauffe.

Différence 50 pour 100 en faveur du générateur tubulaire, mais sous réserve encore de sa plus grande surface de chauffe.

4° Disons aussi, autorisé par M. Nozo, que des expériences plus récentes, faites en 1860 sur ces mêmes générateurs, ont beaucoup plus que confirmé les résultats précédents, mais toujours sous les mêmes réserves.

5° Enfin, rappelons le mémoire de M. Le Pellerin, séance du 20 février 1857, sur les chaudières qui ont fonctionné à l'Exposition universelle de 1855; ces chaudières ont donné les résultats consignés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES CHAUDIÈRES.		SURFACE de chauffe.	OBSERVATIONS.		NATURE DU COMBUSTIBLE.
Inventeurs ou constructeurs.	SYSTÈMES.		DURÉE de la mise en pression à 5 atmosphères.	Quantité d'eau vaporisée par 1 kil. de combustible.	
Farcot....	Générateur et 2 réchauffeurs..	50^{m2}	1^{h}30′	6^{k},43	Tout venant de Mons et Charleroy.
Durenne..	— et bouilleurs.	47 ,0	2^{h}	6 ,7	Tout venant de Mons et Charleroy.
Molinos...	Générateur et tubes (avec dispositions particulières).	24 ,7	35′	10 ,47	Gailleteux de Charleroy.
Zambeaux.	Tubulaire (tubes verticaux).....	9 ,5	15′	8 ,30	Gailleteux de Charleroy.
Lyon (ch. de fer)...	Tubulaire (tubes horizontaux).....	81	1^{h}15′	7 ,91	Coke.

La comparaison des chiffres bruts de ces expériences, en en exceptant toutefois ceux qui se rapportent à la chaudière Molinos, d'un type tout spécial, donnerait un avantage de 31 pour 100, en faveur des chaudières à tubes, sur les chaudières à bouilleurs ou à réchauffeurs.

Mais si l'on veut restreindre la comparaison à celle des chaudières à bouilleurs, et des chaudières tubulaires horizontales ordinaires; si l'on remarque, en outre, que la seule chaudière de ce dernier système, celle de Lyon, était alimentée de coke, au lieu de houille; et que pour rétablir la comparabilité on essaye de transformer la consommation de coke, en ce qu'elle eût dû être en houille; en supposant, faute d'autres bases, que les consommations eussent été inversement proportionnelles aux puissances calorifiques des deux combustibles, évaluation probablement exagérée, on aurait dû avoir alors, pour rendement en houille de la chaudière de Lyon, 9^{k},88 de vapeur par kilog. de charbon brûlé, ce qui donnerait à cette chaudière un avantage de 50 pour 100 sur les chaudières à bouilleurs ou à réchauffeurs.

Concluons seulement de là, à la confirmation de notre chiffre de 39 pour 100.

IX

21. *Comparaison des rendements définitifs des deux machines considérées par rapport à la dépense de combustible.*

Nous venons d'établir que les travaux produits par un même poids de vapeur dépensée, à la même pression, étaient entr'eux dans le rapport suivant :

$$\frac{\text{T.(Loc.)}}{\text{T.(Fixe)}} = 1{,}2$$

et nous avons trouvé que pour une même quantité de combustible dépensée, les poids de vapeur formée étaient dans le rapport de :

$$\frac{\text{P (Loc.)}}{\text{P' (Fixe)}} = 1{,}39.$$

Donc le rapport des travaux produits pour une même dépense de combustible dans les deux cas, sera :

$$\frac{\text{T (Loc.)}}{\text{T' (Fixe)}} = 1{,}2 \times 1{,}39 = 1{,}67. \qquad (a)$$

Comparaison des résultats obtenus par les calculs précédents, avec les résultats fournis par les expériences directes sur les pompes.

Dans nos observations directes sur les quantités d'eau élevées par des pompes mues par chacune des deux espèces de machines comparées, nous avions trouvé :

$$\frac{\text{T}_u \text{ (Loc.)}}{\text{T}_u' \text{ (Fixe)}} = 1{,}55. \qquad (b)$$

Mais d'abord le premier de ces rapports (a), représente le rapport des travaux produits dans les cylindres, et nous avons trouvé dans notre première note, par des expériences au frein, que le rapport entre le travail sur l'arbre moteur et le travail sur le piston à vapeur, c'est-à-dire le coefficient ordinaire **K**, était égal à :

K = 0,535 pour la machine fixe de 4 chevaux, marchant à $4^{ch},00$
K' = 0,566 — locomobile de 6 chevaux, — $5^{ch},80$

il faudra donc introduire déjà le rapport de ces coefficients dans l'expression (*a*), qui deviendra :

$$\frac{T\ (Loc.)}{T'\ (Fixe)} = 1,67 \times \frac{0,566}{0,535}. \qquad (a')$$

De plus, dans notre première note encore, nous avons trouvé que la pompe à action directe de la machine fixe rendait 67 pour 100 du travail moteur, et la pompe à courroie et engrenage de la locomobile, seulement 63 pour 100; on a donc encore :

$$\frac{T\ (Loc.)}{T'\ (Fixe)} = 1,67 \times \frac{0,566}{0,535} \times \frac{0,63}{0,67}. \qquad (a'')$$

Et enfin nos machines locomobiles, à une seule exception près, étaient de 3 chevaux de force au plus, et non de 6 chevaux, comme celle de la formule (*a*), et nous avons indiqué comme coefficients de rendement trouvés au frein, sur machines locomobiles de 3 et de 6 chevaux, marchant à leur maximum de force (tableau numéro II de notre première note),

Pour machine de 3 chevaux $K = 0,576$
— 6 — $K = 0,62$.

Introduisons encore ce rapport dans la formule (*a''*) pour la placer entièrement dans les conditions des observations directes, et nous aurons :

$$\frac{T\ (Loc.)}{T'\ (Fixe)} = 1,67 \times \frac{0,566}{0,535} \times \frac{0,63}{0,67} \times \frac{0,576}{0,620},$$

ou en effectuant les calculs. . . . $= 1,67 \times 0,9242 = 1,543$.

On voit que la vérification obtenue est encore plus approchée qu'on ne devait l'attendre de la combinaison d'un aussi grand nombre d'éléments.

X

22. Comme complément de cette étude, nous résumons dans le tableau suivant, divers résultats d'expériences sur les machines à vapeur des différents systèmes dont nous avons parlé.

ORIGINE des EXPÉRIENCES.	INDICATION des SYSTÈMES. — MACHINES et CHAUDIÈRES.	RÉSULTATS D'OBSERVATIONS.							Numéros d'ordre des expériences.	NATURE des expériences.
		DÉTENTE. fraction de la course à pleine pression.	PRESSION de la vapeur dans la chaudière.	Force de la machine sur l'arbre (mesuré au frein de Prony).	RENDEMENTS. CHAUDIÈRE SEULE. Vapeur par kil. de charbon brûlé.	RENDEMENTS. MACHINE SEULE. Travail rendu par calorie.	Machine et Chaudière ensemble. Charbon brûlé par heure. et par cheval, mesuré sur l'arbre.	Machine et Chaudière ensemble. Charbon brûlé par heure. et par cheval utile, en sus d'élevé.		
	Machine à détente variable avec un seul cylindre sans enveloppe.....		atm.	ch.	kil.	km.	kil.	kil.		
Notre première Note. (Séance d'avril 1862.)	Chaudière à réchauffeurs.....	1/5 à 1/4	5,7	4,11	6,35	14,2	4,86	»	1	Expériences officielles de réception.
		1/5	5,4	5,40	5,77	14,5	5,02	»	2	
Id.....	Machine locomobile.	4/5	5,4	5,8	8,6	16,7	2,96	»	3	Id.
Note de M. Nozo. (Séance du 17 septembre 1858.)	Id.....	3/4 à 2/3	5,25	9,0	8,8	17,26	2,80	»	4	Id.
Notre première Note. (Avril 1862.)	Machine Woolf à enveloppe de vapeur..	1/4,3	4,2	15,0	»	32,0 calculé en supposant 7,5 vapeur par kil. de charb.	1,71	1,85	5	Id.
	Chaudière à réchauffeurs.....						1,75	1,90	6	Id.
			4,4	16,0	»		1,65	1,79	7	Id.
							1,42	1,54	8	Id.
Cours de M. Tresca.	Machine à détente variable à un cylindre avec enveloppe de vapeur..... Chaudière à réchauffeurs.....	1/15	5,50	30,0	»	38,9	»	»	9	
Note de M. Farcot sur la machine des Ponts de Cé.	Même machine que la précédente.....	1/15	4,91	45,0	»	»	1,17	1,365	10	Expériences officielles de réception.
						»	1,11	1,288	11	
Mémoire Hirn. Bulletin, Mulhouse février 1856.	Machine Woolf sans son enveloppe de vapeur.....	1/4,3	3,8	70 à 80	»	28,7	»	»	12	Expériences particulières de M. Hirn.
	Machine Woolf avec son enveloppe....	1/4,3	3,8		»	36,6	»	»	13	
Note de M. Burel, (séance du 6 juin 1862.)	Machine Woolf ordinaire..... Chaudière à bouilleurs.....	1/6	4,75	80	8,17	47,5	1,039	»	14	Expériences officielles.

OBSERVATIONS. — 1. La machine, expériences nos 5 et 6, a donné 92 p. 0/0 pour rendement des pompes. — 2. Les nombres n° 5 et n° 8 résultent d'une seule et même expérience; les seconds sont ceux qu'a donnés directement l'observation; les premiers sont formés en augmentant les seconds, en raison des différences qu'on a cru observer dans l'état du foyer, au commencement et à la fin de l'expérience; il en est de même des nombres n° 6 et n° 7.

On peut tirer de ce tableau les comparaisons suivantes :

MACHINE n° 4, *locomobile*, 9 chevaux. Travail rendu par calorie $17^{km},26$.
MACHINE n° 5, *Woolf* de 15 chevaux. Détente au 1/4,3 id. 32

Les calories produites par kilog. de charbon sont :

pour la locomobile : $8^{k},8\ (606,5 \times 0,305 \times 155° - 18) = 5590$
pour la Woolf : $7,5\ (606,5 \times 0,305 \times 146 - 13) \times 1,05 = 5025$

Le travail par kilog. de charbon sera donc :

pour la première : $5590 \times 17,26 = 96,150$ kilogrammètres.
pour la deuxième : $5025 \times 32 = 160,800$ id.

$$\text{dont le rapport} = \frac{(\text{Woolf})}{(\text{Loc.})} = 1,67;$$

or, les dépenses de combustible par cheval et par heure sont :

pour la première : $2^{k},8$,
pour la deuxième : 1,7; dont le rapport = 1,65;

ce qui vérifie les hypothèses du calcul et notamment la vaporisation de $7^{k},5$.

MACHINE n° 4, *locomobile*, 9 chevaux. Travail rendu par calorie, $17^{km},26$.
MACHINE n° 9, 30 chevaux, 1 *cylindre* à enveloppe. Détente au 1/15e. Travail rendu par calorie. 38 ,00.

Rapport entre les travaux théoriques, pour une même dépense de vapeur : $\frac{5^{at},25\ (1 + 0,22 - 0,2)}{5^{at},5\ (1 + 1,71 - 0,2)} = \frac{1}{3,89}$.

Rapport entre les travaux réellement produits : $\frac{17,26}{38} = \frac{1}{2,21}$.

Rapport entre les coefficients de rendement $\frac{(1\text{ cyl.})}{(2\text{ cyl.})} = \frac{2,21}{3,89} = 0,57$,

soit 60 pour 100.

MACHINE n° 5, *Woolf*, 15 chevaux. Détente au 1/4,3.
Travail par calorie, 32 kilogrammètres.

MACHINE n° 9, 30 chevaux, 1 *cylindre*. Détente au 1/15e, enveloppe de vapeur.
Travail par calorie, 38 kilogrammètres.

Rapport entre les travaux théoriques : $\frac{1886}{980} = 1,92$.

— — réels : $\frac{38}{32} = 1,19$.

Rapport entre les coefficients de rendement : $\frac{\text{n° 9}}{\text{n° 5}} = \frac{1,19}{1,95} = 62$ p. 0/0.

MACHINES nos 10 et 11, 45 chevaux, 1 *cylindre* à détente au 1/15e et enveloppe de vapeur. Charbon par cheval, 1k,14.

MACHINE n° 14, *Woolf*, 80 chevaux. Détente au 1/6e, id. 1k,04.

Rapport entre les travaux théoriques : $\frac{16,66}{12,82} = 1,03.$

— — réels : $\frac{1,04}{1,14} = 0,91.$

Rapport entre les coefficients de rendement : $\frac{(n° 10)}{(n° 14)} = \frac{0,91}{1,3} = 70$ p. 0/0.

MACHINE n° 9, 30 chevaux, 1 *cylindre*. Détente au 1/15e, enveloppe de vapeur. Travail par calorie, 38km,0.

MACHINE n° 13, 80 chevaux, *Woolf*. Détente au 1/4,3, id. 36 ,6.

Rapport entre les travaux théoriques : $\frac{18,86}{8,83} = 2,13.$

— — réels : $\frac{38}{36,6} = 1,04.$

Rapport entre les coefficients de rendement : $\frac{1,04}{2,13} = \frac{(n° 9)}{(n° 13)} = 49$ p. 0/0.

MACHINES nos 10 et 11, 45 chevaux, 1 *cylindre* au 1/15e, enveloppe de vapeur. Charbon par cheval, 1k,33.

MACHINE n° 5, 15 chevaux, *Woolf*. Détente au 1/4,3, id. 1 ,85.

Rapport entre les travaux théoriques : $\frac{16,66}{9,80} = 1,700.$

— — réels : $\frac{1,85}{1,330} = 1,42.$

Rapport entre les coefficients de rendement : $\frac{(n° 10)}{(n° 5)} = 83$ p. 0/0.

Récapitulant, on trouve :

NUMÉROS D'ORDRE des EXPÉRIENCES.	FORCE DE LA MACHINE		RAPPORT entre le coefficient de rendement de la machine à 1 cylindre et celui de la machine à 2 cylindres.
	à 1 cylindre.	à 2 cylindres.	
N° 5 et n° 9....	30 chevaux.	15 chevaux.	62 p. 100
N° 10 et n° 14..	45 —	80 —	70 p. 100
N° 9 et n° 13...	30 —	80 —	49 p. 100
N° 10 et n° 5...	45 —	45 —	83 p. 100
			$\frac{264}{4} = 66.$
Moyenne.....	37ch,5.	47ch,5.	66 p. 100.

NOTA. — Nous pourrions citer comme confirmation du *sens*, sinon du chiffre de nos conclusions, les expériences faites en 185 par la Société d'encouragement, d'une part : sur

Comparant entre elles les machines Woolf, on trouve :

NUMÉROS D'ORDRE des EXPÉRIENCES.	FORCE DE LA MACHINE. — Effectuée au frein.	RAPPORTS ENTRE LES TRAVAUX théoriques, — suivant la formule.	RAPPORTS ENTRE LES TRAVAUX réellement effectués, — pour une même dépense de vapeur.
N° 14.....	80 chevaux.....	1,43.....	1,30
N° 13.....	80 —		
N° 14.....	80 —	1,31.....	1,46
N° 5.....	15 —		
Moyenne générale.....		1,37.....	1,38

23. En résumant, et formulant les conséquences de ces observations; on pourrait dire :

1° Qu'il y a incontestablement avantage, au point de vue de la dépense de charbon, à faire marcher une machine donnée, à la plus grande détente, et à la pression la plus élevée; mais à la condition, cependant, que la chaudière présentera, *en tous cas*, une surface de chauffe de dimensions convenables pour le travail à produire.

Et pour les petites machines de 4 à 6 chevaux expérimentées, nos observations montrent que le maximum de rendement de la machine a été obtenu pour une force correspondant à une surface de chauffe de la chaudière, de $1^{m^2},55$ environ, par force de cheval;

2° Mais que dans les machines *sans enveloppe de vapeur*, la détente, tout en procurant de l'économie, est fort loin cependant de donner toute celle que l'on serait tenté d'en attendre, d'après la formule théorique seule, et sans tenir compte des refroidissements qu'occasionne la détente dans le cylindre à vapeur;

3° Que les chaudières tubulaires des petites machines locomobiles expérimentées, produisent plus de vapeur par kilogr. de charbon brûlé, que les chaudières *ordinaires* à deux bouilleurs ou à deux réchauffeurs

une machine à détente au 1/15e, par un cylindre unique, enveloppé de vapeur, et avec générateur à réchauffeurs latéraux.

Et d'autre part : sur une machine Woolf, à détente au 1/8e, avec générateur ordinaire à bouilleurs.

Ces essais faits comparativement sur ces deux machines, ont donné pour résultat, une consommation de $1^k,32$, la même dans les deux cas. Les avantages du système Woolf compensaient donc le bénéfice d'une plus grande détente, et la supériorité du générateur à réchauffeurs latéraux sur le générateur ordinaire à bouilleurs.

de même force, et construites dans les formes et proportions habituelles; que la supériorité des premières est d'autant plus grande, que les chaudières comparées sont alimentées simultanément de combustible de qualité plus inférieure; et qu'enfin, cette supériorité a été trouvée de 39 pour 100, pour les machines expérimentées en service ordinaire et régulier;

4° Que la disposition adoptée dans les petites machines locomobiles, et qui consiste, en ce qui concerne le cylindre à vapeur, à le placer à peu près immédiatement contre le générateur, équivaut, quant aux refroidissements, pour ces machines à grande vitesse et à faible détente, à l'emploi de la chemise à vapeur de Watt, dans le petit cylindre des machines Woolf;

5° Que les petites machines désignées sous la dénomination de *locomobiles*, et que nous avons définies en commençant, rendent pour une même dépense de combustibles, des qualités, et dans les conditions spécifiées aux tableaux d'expériences précédents, un travail supérieur de moitié à celui que produisent des machines de même force, à détente du 1/4 au 1/5e, avec un seul cylindre *non enveloppé*, et alimenté par un générateur ordinaire à deux bouilleurs ou à deux réchauffeurs placé à une distance de 5 à 6 mètres du cylindre à vapeur;

6° Enfin que la machine Woolf à deux cylindres enveloppés de vapeur, et détendant du 1/4 au 1/6e, a *un coefficient de rendement* notablement *supérieur* à celui des machines à détente au 1/15e, par un seul cylindre, enveloppé de vapeur.

La supériorité de la première machine pouvant d'ailleurs tenir, en partie à ce qu'elle fonctionne à une bien moindre détente, en partie au fait de la séparation des cylindres de détente, et de pleine pression.

Nous terminerons cette étude en faisant quelques réserves, pour ce qui regarde la question d'entretien de ces diverses machines, et notamment des chaudières tubulaires.

Nous dirons toutefois que dans les exemples de machines locomobiles que nous avons sous les yeux, cette question d'entretien des chaudières tubulaires paraît généralement ne devoir prendre qu'une importance assez secondaire dans la question principale d'économie, mais à la condition toutefois qu'à une plus grande vigilance dans les soins ordinaires d'entretien, on joigne au besoin l'emploi de procédés efficaces, pour neutraliser les propriétés incrustantes de certaines eaux.

Nous dirons enfin, que nous n'avons nullement la prétention d'avoir résolu définitivement toutes les questions que nous avons soulevées dans cette étude, et que notre but serait atteint, si nous avions pu apporter quelques éléments utiles à la solution de ces questions.

NOTE

SUR LE

PROCÉDÉ DE DURCISSEMENT DES RAILS

par la compression finale à basse température,

PAR M. P. SIEBER.

Introduction. — Lorsqu'en 1859, après divers essais, je crus pouvoir faire paraître mon mémoire sur la fabrication des rails, modifiée par une compression finale à basse température[1], l'objection qui se produisit tenait à ce que ma proposition était en contradiction avec les notions admises et que ma méthode devait produire des rails écrouis et cassants[2].

Je dois dire, toutefois, que ce qui a réagi le plus contre ma proposition à cette époque, ce fut la préférence marquée que l'on accordait au laminage des rails par le train à trois cylindres, qui venait d'être installé en France[3]; ce moyen de laminage plus accéléré représentait la dernière expression des tendances dominantes, en permettant de terminer le rail plus vite et plus chaud, qu'on n'avait pu le faire par la vitesse déjà considérable, dont on avait animé les trains à deux cylindres.

L'on comprend dès lors l'hésitation qui a dû faire obstacle à la prise en considération d'un procédé qui se basait sur un principe tout opposé, le finissage du rail par une compression finale à basse température.

Quatre années se sont maintenant écoulées depuis l'adoption du laminage accéléré, et l'époque semble arrivée pour pouvoir résumer la balance de la situation.

Sans entrer dans un long exposé théorique, je démontrerai, plus loin, quel est suivant moi l'état moléculaire de la matière après le refroidissement lent, et quelle est l'influence de l'action mécanique appliquée sur la masse métallique à l'état de dilatation.

1. A partir de *rouge brun*.
2. Pour ce qui concerne l'ancien mémoire, voir les notes A et suivantes, p, 240-241-243.
3. A l'usine d'Anzin vers la fin de 1858.

Ce qu'il me semble utile d'exposer avant tout, ce sont certains faits pratiques, propres à faire apprécier la base sur laquelle s'est fondée ma proposition.

§ Ier. — Quelle est la cause de la plus longue durée des anciens rails.

En tous pays, l'on s'accorde à dire, que les premiers rails fournis par les anciennes usines d'il y a 18 à 20 ans, ont généralement fait une plus longue durée que ceux qu'on leur a substitué depuis. Sans expliquer ce fait d'une manière définie, les praticiens se sont contentés jusqu'ici de l'attribuer à la nature des fers, au procédé d'affinage d'alors, etc.; explication inadmissible, car en supposant même qu'il y eût là une raison valable par rapport à un pays ou à une usine, les mêmes circonstances favorables ne pouvaient exister pour toutes les usines en général.

D'un autre côté, lorsqu'à diverses reprises l'on a cherché, en guise d'essai, à revenir aux anciennes allures des hauts fourneaux et aux premiers errements dans le puddlage, on a généralement obtenu des produits définitifs inférieurs à ceux que l'on obtenait par les traitements perfectionnés de l'époque.

J'ajouterai qu'en examinant les vieilles ferrailles provenant de la fabrication d'il y a 18 à 20 ans, y compris les fers dont se composaient les anciens rails, tant estimés pour leur durée, on remarque aisément l'infériorité de la matière.

Est-ce à dire que c'était la mauvaise nature des fers qui avait favorisé la durée des anciens rails? Évidemment non, attendu que moins le fer est pur, moins il possède de compacité, élément indispensable pour un bon rail.

Attribuerons-nous la plus longue durée des anciens rails à la légèreté du matériel roulant, et à la moindre importance du trafic des époques précédentes? On objecterait, en ce cas, que si l'ancien matériel était moins lourd et le trafic moindre, les rails aussi étaient plus faibles, ils ne pesaient que 22 à 30 kilog. par mètre, et que pour surplus ils reposaient sur des supports espacés de $1^m,10$ à $1^m,25$, et que par suite de l'augmentation successive du poids des machines et du développement du trafic, on a porté le poids des rails à 35,37 et 40 kilog. par mètre, tout en réduisant l'espacement des supports à 1 mètre, puis à $0^m,80$ en moyenne. Nous pouvons donc admettre que le poids des rails, et l'importance de la circulation, se trouvaient dans un rapport satisfaisant, et parfaitement comparable.

Tout semble donc nous conduire à chercher ailleurs la cause de la plus longue durée comparative des anciens rails; cette cause semblerait devoir être d'autant mieux saisissable, qu'elle n'a pas seulement laissé

apprécier ses bons effets sur les produits d'un seul pays, mais bien sur ceux de toutes les usines de l'époque.

Observations pratiques. — Comme il importe beaucoup pour le développement des idées sur lesquelles je me suis arrêté, d'arriver à une explication plausible de ce phénomène, qu'il me soit permis d'examiner la question sous un point de vue nouveau, en m'appuyant sur une théorie de circonstance, entourée de faits très-marquants par la concordance dans leurs effets.

En 1846, une usine, en France, s'était chargée d'une fourniture de rails; elle disposait d'une machine motrice et d'un train à rails, d'une faiblesse désespérante; l'énergie du volant faiblissait graduellement pendant les passes de la trousse, et le train s'arrêtait souvent avant la passe dans la dernière cannelure. L'on perdait beaucoup de temps en laissant reprendre la vitesse au train à vide, et lorsque la barre était finie, elle n'était que rarement assez chaude pour pouvoir être coupée à la scie circulaire.

Il est, en outre, digne de remarque, que malgré l'emploi de tous les moyens utiles pour amener du grain dans la tête du rail, ainsi que le prescrivait le cahier des charges, sur les rails finis moins chauds, on n'obtenait que du nerf. Sous le mouton, ces rails résistaient comme des ressorts. Placés en service sur une ligne mise en exploitation, fin 1847[1], ils se sont admirablement comportés.

Quelques rails pris sur ceux finis à des températures des moins élevées (au rouge-cerise), mis en service sur des points marqués, n'offraient, douze ans après, aucune trace d'altération, et j'ai tout lieu de croire qu'ils sont encore dans le même état, car un rail qui ne s'altère point en douze ans a certes beaucoup de chance de se conserver au moins encore autant.

Voici maintenant d'autres faits analogues dont il convient de tenir compte.

Deux usines belges, dont l'une dans des conditions très-défavorables, par rapport à son matériel de laminage, et l'autre parfaitement montée, laminant à grande vitesse, ont fait ensemble une fourniture de rails à l'étranger[2]: au bout d'une période égale de service, les rebuts constatés se sont trouvés dans la proportion comme 1 est à 50; c'est-à-dire que l'usine la moins bien partagée sous le rapport de son matériel de laminage, celle qui a fini ses rails moins chauds, a remporté la palme par le petit nombre de ses rebuts.

Cinq ou six autres usines ont fait aussi une grande fourniture de rails à l'étranger[3]; parmi ces usines toutes des plus avancées, pourvues d'un

1. Ligne de Lille, Calais et Dunkerque.
2. Ligne de Vienne à Varsovie.
3. Ligne du Nord de l'Espagne.

matériel mécanique de laminage très-satisfaisant, il s'est trouvé néanmoins une ancienne usine dont le train à rails était dans des conditions assez défavorables, pour avoir motivé sa substitution; eh bien, dans ce cas encore, c'est cette dernière usine qui a fourni relativement les meilleurs rails. Au bout de la garantie, le nombre de ses rebuts est resté de beaucoup au-dessous de celui atteint par ses rivales perfectionnées : elle a eu 4 pour 100 au lieu de 9, 12, 20 et 25 pour 100 des autres; et chose remarquable, les usines qui ont eu le plus grand nombre de rebuts sont respectivement celles qui ont fini les rails plus chauds.

Sur une fourniture de rails faite par des usines françaises, dont une laminant à grande vitesse, et les autres dans des conditions plus ou moins favorables, par rapport à leur train à rails, on a constaté, au bout d'une période égale de service, 14 à 17 pour 100 de rebuts pour l'usine qui a fini les rails très-chauds, contre 3 à 4 pour 100 des autres.

Je pourrais citer une plus longue série de faits de cette nature, démontrant que, malgré que le laminage à grande vitesse soit incontestablement plus favorable aux soudures, ce ne sont pas moins les rails finis les plus chauds de laminage qui ont fourni les plus graves et les plus nombreuses altérations pendant une période donnée.

Mais il suffit pour le moment d'avoir appelé l'attention sur ce point important, car c'est précisément dans ces résultats que nous allons trouver l'explication de la supériorité de durée des rails de l'ancienne époque.

Conséquence des observations précédentes. — Il semble hors de doute, en effet, que cette supériorité de durée des anciens rails a dû trouver sa source dans l'état de faiblesse à peu près identique des trains de laminage d'alors.

A ladite époque, on passait la barre dans un nombre relativement plus grand de cannelures, et par conséquent avec des réductions plus faibles pour chaque passe; le laminage durait plus longtemps, et lorsque le rail était fini, il était loin d'être assez chaud pour pouvoir être coupé à la scie circulaire[1]. Mais que dis-je ! c'est précisément l'époque de l'introduction de la scie circulaire pour le coupage des rails, qui a marqué cette transition à partir de laquelle nous avons vu paraître les rails en fer mou et cassants. Suivant moi, qui suis profondément pénétré de ce résultat, les usines auraient cessé d'être dans les conditions favorables pour produire des rails durs et élastiques, à partir du jour où elles ont pu faire usage de la scie circulaire; car, pour atteindre ce résultat économique de fabrication, elles ont dû donner de la vitesse aux trains de laminage, afin de pouvoir finir le rail plus chaud qu'elles n'avaient pu le faire précédemment.

1. Dans les anciennes usines, avant la modification des trains, on coupait les rails à la tranche, au tour, ou au banc à raboter; l'usage des scies date de 1846 environ.

Je ne blâme pas cette mesure en principe, au contraire, je la considère comme un véritable progrès de fabrication; je constate seulement un fait d'une très-grande portée dans la question qui nous occupe; je constate que les rails généralement très-résistants au choc, sont devenus très-cassants depuis qu'on a pu les terminer beaucoup plus chauds, au point que la faible durée des rails d'aujourd'hui est devenue un objet de grave préoccupation pour l'avenir des chemins de fer.

Après cela, comment mettre en doute que la supériorité de durée des anciens rails n'ait été le résultat du finissage forcé à plus basse température? A un effet aussi général il ne devait y avoir qu'une cause tout aussi générale qui pût l'expliquer; or la faiblesse des trains de laminage d'autrefois est évidemment cette cause.

L'influence de cette faiblesse des trains sur la dureté des anciens rails doit être réelle, puisqu'une différence très-sensible se manifeste encore dans les résultats plus favorables obtenus sur les rails des usines qui les ont finis moins chauds que d'autres.

§ II. — Les rails finis très-chauds de laminage sont moins élastiques et moins durs.

Nous avons vu les résultats peu favorables qui ont frappé les usines qui ont terminé les rails très-chauds de laminage; nous avons vu aussi que la diminution dans la densité et la résistance des rails au choc a coïncidé précisément avec l'accélération du laminage; voici maintenant quelle serait la cause, suivant moi, qui produit sur les rails finis très-chauds un résultat si négatif sur la densité et l'élasticité de la barre.

J'admets en principe cet axiome, savoir : que la dilatation est d'autant plus grande que le fer est moins pur, et que la température est plus élevée. Partant de là, je conclus que le rail, au sortir des cylindres, possède une dilatation cubique d'autant plus grande qu'il est terminé plus chaud[1]; or lorsque le rail terminé à haute température, est déposé pour le laisser refroidir, sa surface en contact avec l'atmosphère se contracte de suite d'une certaine quantité et acquiert une dureté relativement plus grande que celle propre à la couche placée au-dessous; lorsque, par leur affinité élémentaire, les molécules métalliques internes tendent à se contracter, elles se trouvent en quelque sorte gênées par la roideur acquise à la surface, par l'espèce d'enveloppe plus dure.

Par suite de cette roideur superficielle, les molécules de toute nature qui constituent la masse interne, retenues en état de suspension, consti-

1. L'action de compression par les cylindres sur le fer laminé très-chaud, n'est d'aucune influence par rapport à sa densité, ou à son retrait définitif, vu que l'agrégation plus ou moins concrète résulte exclusivement de la contraction physique.

tuent, après refroidissement, une masse poreuse sans agrégation, aussi peu dense que peu tenace.

L'on serait tenté de croire que l'enveloppe externe devrait pouvoir suivre au fur et à mesure le retrait de la masse; mais si cela peut se passer ainsi dans une certaine mesure, lorsqu'il s'agit de fers parfaitement affinés et très-purs, il n'en est pas de même pour les fers admis pour la fabrication des rails. Ces fers puddlés, plus ou moins imprégnés de silicates hétérogènes et même de crasse, difficile à expulser entièrement, forment bien plus un composé dans lequel le fer est à l'état de division, qu'une masse métallique compacte; dès lors, l'espèce d'enveloppe superficielle plus réfractaire, par suite de son contact avec les silicates et les impuretés du four, durcit, à des températures encore élevées, variables sans doute en degrés, mais se consolide certainement avant que les molécules internes se soient disposées dans leur état de concrétion définitif.

Il résulte ainsi un état de dilatation superficielle, devenu permanent après le refroidissement du rail, et dont l'importance, comme on l'a vu, sera d'autant plus grande que le fer sera moins pur, et que le rail aura été abandonné au refroidissement lent dans un état de dilatation plus prononcé, eu égard à la haute température à laquelle le laminage aura été fini.

Comme exemple de la grande réfractibilité des silicates, par rapport à la température à laquelle le fer fait son retrait, je crois pouvoir appeler l'attention sur un phénomène très-appréciable que voici : On observe généralement sur les rails, comme sur tous les fers impurs terminés très-chauds, une écaille superficielle, laquelle se détache naturellement en refroidissant; c'est le produit de la vitrification des crasses que nous voyons, à l'état liquide, envelopper la trousse jusque vers la fin du laminage[1]; cette nature de silicate (peroxyde $Fe^2\ 0^3$) ne participe qu'en proportion très-minime à l'agrégation métallique solide; aussi, à notre point de vue, elle démontre seulement que, par sa nature très-réfractaire, elle se consolide très-promptement, et que dans cet état, elle ne suit point la contraction ultérieure de la barre; qu'elle conserve au contraire sa dilatation primitive, au point que lorsque le rail fait son retrait, elle s'isole, et ne suit point la contraction ultérieure, malgré la chaleur encore très-élevée que possède la barre.

Donc, en tenant compte de la nature réfractaire des silicates qui divi-

1. On dirait que cette couche de crasse se lamine avec la barre; car si nous quittons, pour la laisser refroidir, une trousse aux différents degrés de laminage, nous remarquons que la croûte de crasse est d'autant plus mince, que la barre est plus travaillée. Ce fait peut s'expliquer par ceci, que la crasse colle avec d'autant plus de ténacité, qu'elle passe de l'état liquide à l'état pâteux; déjà pâteuse à la température rouge-rose, elle conserve jusqu'au rouge-cerise une malléabilité suffisante pour s'étendre sans se rompre; au-dessous de cette température la crasse se consolide et tombe.

sent les molécules métalliques dans les fers impurs, nous pouvons admettre que, quoique à un degré infiniment plus faible, il puisse se passer le même phénomène entre l'enveloppe superficielle consolidée et la masse interne, que celui mieux appréciable qui se rapporte à la couche de crasse et à la surface de la barre qui s'en sépare par son retrait.

Quelle sera, d'après cela, la densité du fer formant la tête du rail? Toute réserve admise par rapport aux matières les plus compactes et les plus pures, on remarquera quelque dureté à la surface, due surtout à l'influence de la cristallisation des silicates; mais l'on admettra sans doute que l'espèce d'enveloppe superficielle en état d'expansion sera bientôt refoulée par la pression des roues en circulation (B).

C'est à cet état de choses que l'on doit, en effet, la prompte disparition du bombement du rail lorsqu'il est un peu prononcé. Ce n'est pas l'usure, mais bien un refoulement d'autant plus prompt à se produire, que les roues gravitent sur une surface plus petite, et que le rapport entre la densité du fer et la charge en circulation est moins favorable. Mais il y a plus; de ce refoulement superficiel, résulte ordinairement, dans les fers mous, un dérangement dans le contact des mises les plus proches de la surface de roulement, lequel, tout inappréciable qu'il soit de premier abord à l'extérieur, n'en a pas moins des conséquences graves; car, en raison de la malléabilité inhérente à l'état de recuit dans lequel se trouve la barre, il agit de plus en plus profondément, et finit par déranger le contact des mises, et met bientôt au jour cette série de dessoudures, pailles et exfoliations, qui ne se produiraient pas, ou ne se présenteraient que tardivement en proportion plus faible, si l'agrégation, quelle qu'elle puisse être, n'était pas dérangée par le refoulement superficiel; en un mot, si le rail était plus dur.

Lorsqu'au contraire les rails étaient terminés moins chauds (comme c'était le cas par l'ancienne fabrication), par la compression successive du rail entre les cannelures, on venait pour ainsi dire en aide au travail physique de contraction; on refoulait la surface pendant que le fer opérait une bonne partie de son retrait, de sorte que le rail fini, ne possédant plus qu'une température relativement plus basse, ne subissait qu'une contraction ultérieure de beaucoup plus faible.

C'est ainsi, suivant moi, que les anciens rails ont pu posséder une élasticité et une dureté plus favorable à leur service, dureté qu'il serait très-difficile d'atteindre par notre système actuel, en terminant le rail très-chaud, tout en l'abandonnant au refroidissement lent, sans travail ultérieur de compression.

§ III. — **Conséquences qui en dérivent.**

En tenant compte de ces diverses circonstances, et en étudiant la question sous ce nouveau point de vue, tout en me dégageant de cette

partie de la théorie qui pouvait influer sur les conséquences à déduire de mes nouvelles idées, je suis arrivé à conclure, savoir : qu'il était inutile de poursuivre la solution du problème de l'amélioration des rails par le finissage à haute température, ni même par l'emploi de matières de qualité supérieure, vu que cette importante solution peut être atteinte à un degré très-satisfaisant par l'application raisonnée du principe de la compression additionnelle pratiquée sur les rails à une basse température (entre rouge-brun et rouge-noir).

Les expériences pratiques, et les observations faites sur les rails en service, ont démontré qu'un rail très-élastique était *à priori* un bon rail.

D'un autre côté, la compression ou le martelage du fer à basse température pendant qu'il fait son retrait, étant un moyen infaillible pour lui conférer cette élasticité, indépendamment de toute autre condition de qualité, il devient évident que c'est là la voie à suivre.

L'élasticité dont il s'agit est indépendante de la nature du fer ; elle ne saurait être l'apanage du fer mou, fût-il à grain fin ; elle ne se rencontre jamais dans les barres recuites par le refroidissement lent, fussent-elles en acier. Une barre ne peut atteindre le maximum d'élasticité et de densité, que par le travail mécanique appliqué pendant qu'elle achève sa contraction physique.

Par ce moyen, loin de produire des rails cassants, on donne, au contraire, de la ténacité aux fers phosphoreux, aux fers les plus tendres et les moins tenaces. C'est là une vérité qui peut être pratiquement démontrée dans toutes les usines.

Que peut-on conclure d'ailleurs de telle ou de telle autre contexture dans la cassure d'un rail? Si la barre est terminée de laminage à basse température, elle casse à nerf, lors même que la trousse n'aurait été composée qu'avec des fers à grain, et *vice versâ;* si elle est terminée à haute température, elle fournira un grain quelconque à la cassure, lors même que la trousse n'aurait été composée qu'avec les fers les plus nerveux; car c'est l'action mécanique combinée à diverses températures qui modifie radicalement la texture du fer (c).

On se plaignait autrefois que les rails étaient trop nerveux; nous avions même attribué la multiplicité des défauts de soudure à ce caractère presque constant dans les anciens rails; mais, quoi que l'on fît, dans la plupart des usines, pour faire disparaître le nerf, on ne put y parvenir qu'après la modification des trains, en finissant les rails plus chauds. Cela est si vrai, qu'avec les mêmes fers, rien que par l'accélération du laminage, on a obtenu ensuite trop de grain au détriment de la résistance au choc.

D'observations ultérieures il résulterait ceci : que dans notre appréciation, quant à l'effet du nerf sur les soudures, nous avions confondu deux faits bien distincts, savoir : que si les anciens rails étaient moins bien soudés, cela tenait aux imperfections de chauffage, à l'inexpé-

rience des ouvriers, et surtout aux mauvaises conditions de vitesse et de force des trains de laminage, sous lesquels on n'osait aborder de trop fortes réductions de la trousse, mais non pas au caractère nerveux du fer, attendu que celui-ci ne jouait aucun rôle dans la soudure, puisqu'il n'était que la conséquence du laminage lent, prolongé jusqu'à basse température.

J'ai constaté, d'un autre côté, que le fer à nerf, porté à chaude soudante perd son nerf, se cristallise, et ne peut reprendre ce caractère que par le travail mécanique ultérieur.

Si j'ai cru devoir entrer dans ces détails, c'est dans le but, d'une part, de démontrer que le caractère à nerf n'a aucune influence sur les soudures ni sur l'usure (puisque le fer à nerf peut être présumé plus dense), puis de poser un jalon de démarcation entre l'ancienne fabrication et la fabrication actuelle.

Si l'ancienne fabrication a été, proportion gardée, plus favorable aux chemins de fer, dès qu'elle a fourni des rails plus durs, elle a été, d'un autre côté, très-onéreuse aux producteurs à cause des nombreux rebuts de fabrication, conséquence du laminage prolongé à trop basse température; et si la fabrication actuelle est préférable sous ce rapport, il s'en faut de beaucoup qu'elle soit aussi favorable aux chemins de fer.

L'accélération du laminage a eu pour effet d'améliorer les soudures, cela est incontestable; mais il faut bien se pénétrer de ceci: que l'accélération a bien moins fait en faveur du soudage proprement dit, qu'elle a eu pour résultat de ne pas déranger les soudures une fois obtenues; attendu que le rail laminé très-vite et très-chaud jusqu'à la fin, ne subit point l'influence des forces parallèles anormales de traction auxquelles la matière ne puisse céder, vu la haute température à laquelle on cesse de la travailler.

On a cherché en tout temps, non-seulement à éviter de mettre du fer nerveux dans les paquets pour éliminer le nerf; on était même parvenu à obtenir le soudage parfait de la trousse par rapport au chauffage; toutefois l'expérience nous a prouvé que c'étaient là des efforts stériles, puisque ce que l'on obtenait d'un côté, était anéanti de l'autre, jusqu'au moment où l'on a pu terminer les rails plus chauds.

Par ce qui précède, la Société voudra bien le reconnaître, je suis loin d'élever la moindre critique quant aux mesures admises; je n'ai fait qu'exposer l'influence des divers changements apportés en vue d'améliorer la durée des rails, objet des constantes préoccupations des ingénieurs et des maîtres de forge; et si je suis arrivé à mon tour à offrir une solution qui me paraît bonne, ce n'est qu'après avoir assisté aux diverses tentatives faites jusqu'ici, et les avoir appréciées d'après des notions acquises par des observations et des recherches sérieuses.

Jugeant avec la plus grande liberté d'idée, quoique promoteur de la compression finale à basse température, je n'hésite pas à admettre comme

bon et utile le laminage accéléré; seulement, je réclame contre le refroidissement lent, qui, suivant moi, constitue un recuit nuisible à la dureté du rail, et je provoque l'examen de cette question, savoir : s'il ne serait pas utile, qu'après son laminage, le rail fût soumis à une compression lente à basse température, afin de parfaire artificiellement, à la désagrégation moléculaire que le rail conserve après son refroidissement (D).

§ IV. — Durcissement du rail par la compression finale.

Le traitement final du rail à basse température que je propose, constitue une opération additionnelle de compression faisant suite au laminage à chaud.

Le laminage à chaud, sera toujours conduit comme actuellement en vue d'obtenir des soudures parfaites; seulement, lorsque la barre aura emprunté grossièrement le profil du rail, c'est-à-dire, alors que ce profil conservera encore 4 à 6 millim. de fer en sus, au lieu de continuer les passes dans les dernières cannelures, la barre sera portée à la scie pour être mise à la longueur requise, en tenant compte de son allongement ultérieur.

La barre étant coupée, sera déposée comme d'ordinaire pour la laisser refroidir jusqu'au point voulu.

Comme on le voit, le laminage à chaud pourra prendre ainsi une avance de cinq à six rails, avant que le premier rail ébauché, soit réduit à la température voulue.

Lorsque le premier rail aura atteint l'abaissement de température convenable, il sera repris par des manœuvres, qui le feront passer dans un appareil spécial de compression, pourvu de cylindres durs, marchant à très-faible vitesse (12 tours environ par minute); le rail sera ainsi comprimé sur toutes ses faces en deux ou trois passes, et lorsqu'il aura atteint le profil définitif, sa température sera descendue à un degré quelconque au-dessous de rouge-noir (température à laquelle le fer n'offre plus de teinte lumineuse).

Il serait trop long d'entrer ici dans la description de l'appareil comprimeur et de son installation, vu que la localité et les ressources de chaque usine peuvent en modifier l'ensemble; il suffit de signaler que cet appareil peut être mû par une machine spéciale, ou par la machine même du train à rails, chaque fois que celle-ci peut fournir un excédant de 15 chevaux de force environ.

Quant à la dépense de main-d'œuvre pour la compression finale, elle peut se résumer à 1 franc par tonne environ [1].

1. Soit par exemple : quatre hommes de jour et quatre de nuit, ci huit hommes à 3 fr. par 12 heures, soit le produit en rails de l'usine 48 tonnes en moyenne, on aura :

$$3 \times 8 = 24 \text{ fr. et } \frac{48{,}000^{k}}{24^{f}00} = 0 \text{ fr. } 50 \text{ cent. par tonne.}$$

Quant à l'intérêt de la dépense de premier établissement, devant porter sur tout le produit de l'année, il se réduit à peu de chose.

La barre sortira droite de l'appareil comprimeur, ou ne possédant qu'une flèche allongée; quoi qu'il en soit, le dressage ultérieur, s'il en restait à faire, devra être opéré pendant que la barre possède un reste de chaleur, car l'expérience a démontré sur les barres finies accidentellement à basse température, qu'elles font ressort sous la presse, et rien ne peut faire disparaître les gauchissements s'il en existait lorsque la barre serait entièrement froide (preuve de la grande élasticité acquise).

L'application du fer corroyé dans la tête du rail, en tant que son but est d'obtenir un fer plus dur, n'est plus indispensable, attendu que la compression finale doit amener une dureté de beaucoup supérieure à celle qu'on a pu atteindre jusqu'ici, avec les meilleurs fers à grain. D'un autre côté, la suppression du fer corroyé, en diminuant les chances de mauvaises soudures, favorisera la compression en ce sens, qu'elle s'exercera sur une masse de même nature, homogène en densité.

La marche du travail de compression est réglée pour chaque usine d'après la marche du laminage à chaud et d'après le produit journalier actuel. Ainsi, par exemple, le laminage du rail à chaud, sciage compris, prenant d'ordinaire plus d'une minute pour faire 10 à 12 passes, la compression absorbera le même temps pour faire deux à trois passes.

L'on comprend que l'opération ainsi réglée ne laisse aucun doute qu'un seul appareil compresseur puisse suffire sans retarder la marche d'un train à rails.

Toutes les autres opérations d'ajustage et de finissage des rails qui se font aujourd'hui, restent les mêmes pour les rails comprimés.

Je dirai, en terminant, que le bénéfice qui en résultera pour les exploitations de chemins de fer ne portera pas seulement sur la prolongation de durée; car, par suite de la compression finale, les rails pouvant atteindre une élasticité et une ténacité plus considérable, tout en leur conservant une résistance égale, il sera possible de leur faire subir une réduction de poids.

Extraits concernant la fabrication des rails modifiée par la compression finale à basse température, tirés de la Note de 1859.

La première note dans laquelle j'ai traité la question du durcissement des rails par la compression finale en 1859, avait pour titre : *Note sur les principales causes de destruction des rails sur les chemins de fer, et procédé modifié de fabrication.*

Le perfectionnement quant à la compression finale, était donné comme la conséquence nécessaire d'un état de choses de la plus haute portée pour l'économie des chemins de fer. Aussi avant de l'aborder j'ai dû exposer certains effets, dérivant de causes vicieuses, qui se sont enracinées dans les usines, que suivant moi il fallait combattre.

Je reproduis donc en guise de notes quelques passages qui intéressent la fabrication, et qui peuvent aider au développement des idées consignées dans la note qui nous occupe aujourd'hui.

Note A. *Sur la forme de la section du rail.*

Rien n'est plus compromettant en effet pour le laminage des rails que ces formes compliquées de différences trop sensibles dans les épaisseurs. La section profilée du rail étant tirée d'un carré, il s'opère pendant la réduction des étirements inégaux, qui se traduisent en des différences de densité ; car les fortes compressions exercées par les cylindres sur les parties minces, alors que la barre possède une température élevée, se traduisent en efforts de traction sur les parties plus massives et plus molles.

Les criques et les solutions de continuité que l'on remarque souvent latéralement aux boudins du rail ne sont pas dues à la nature du fer, elles ne se présenteraient pas si la traction exercée sur le champignon par l'écrasement des parties minces était mieux ménagée.

On corrige ce défaut en mettant dans le champignon un fer plus ductile ; le défaut se corrige à l'extérieur, mais la cause persiste et tend à désagréger la matière formant la tête du rail.

Sans doute il n'est pas possible d'éviter entièrement ces étirements fâcheux dans le laminage des fers profilés, mais *à priori*, la forme la plus symétrique, outre qu'elle sera plus facile à produire, sera en même temps celle qui présentera le moins de chances d'altération entre les mises ; car si comme je viens de le dire, les étirements inégaux provoquent les criques et les solutions de continuité dans les parties plus massives, il n'est pas douteux qu'ils agissent puissamment aussi sur les mises, lesquelles étant dérangées par exemple au moment de la solidification des soudures, ne sauraient se consolider ultérieurement dans de bonnes conditions.

Comme on le voit, la plupart des criques, des solutions de continuité ainsi

que la plupart des défauts de soudure, ne sauraient être exclusivement imputés à la nature du fer, ou au manque de chauffage du paquet; ils sont dus pour la plupart aux brusques réductions de la trousse, d'autant plus compromettantes, qu'elles ont lieu au moment de la consolidation des soudures; c'est là un défaut inhérent à une mauvaise disposition des cannelures.

Note B. *Exfoliations, écrasements et perte des boudins du rail.*

Le fer formant le bombement du rail, est toujours la portion du rail la moins dense : le manque d'une pression directe, efficace dans l'axe vertical de la section, la traction irrégulière qui se développe puissamment dans les parties massives, l'espèce de recuit dérivant du refroidissement lent auquel on soumet le rail au sortir des cylindres, tout concourt, dis-je, à rendre la tête du rail la partie la moins dense et la plus ductile de la barre.

. . . . . .

Quoi qu'il en soit, j'ai toujours constaté que la rupture des boudins du rail est la conséquence de la disparition du bombement, c'est-à-dire, que cette altération commence à se produire sur une grande échelle, alors que la surface du rail s'est non pas usée, mais aplatie par le refoulement du fer sous l'action des roues.

Note C. *Densité du fer (le grain).*

J'ai dit en commençant qu'avec de bonnes soudures, le rail doit posséder la plus grande somme d'élasticité possible; cet énoncé tend à satisfaire aux exigences définies par les cahiers des charges par *dureté et tenacité;* il doit même à mon avis tenir lieu aussi de tout autre mode d'appréciation[1], comme par exemple de juger la qualité des rails d'après la contexture du fer; car si d'une part, l'on ne peut atteindre avec sûreté des bonnes soudures, lorsqu'on est astreint, pour obtenir tel ou tel autre caractère dans la cassure, d'employer deux fers d'une nature diverse, ou affinés à un degré différent, il n'est guère possible non plus d'obtenir la plus grande somme d'élasticité si la barre n'est pas d'une nature homogène, et surtout si le fer ne réunit pas une densité relative.

La nécessité d'obtenir du fer dur à la surface de roulement du rail, avait amené dès l'origine cette prescription, que la tête du rail serait en fer à grain et pour cela le paquet serait recouvert d'une mise en fer corroyé, etc.....

On s'était évidemment fondé pour cette prescription sur ce fait, que les fers les plus durs sont effectivement à grain. Les fers forgés provenant de fontes au bois affinés au charbon de bois, les fers de fontes spathiques et manganésifères pour la cémentation sont tous des fers durs et à grain; mais ces fers, ordinairement d'un prix fort élevé, sont généralement exclus de la fabrication des rails ordinaires, qui, aux prix habituels, ne peuvent se fabriquer qu'avec des fers puddlés de fonte au coke.

Or je me suis demandé s'il était toujours vrai que les fers au coke affinés à la houille, fussent plus durs étant à grain que lorsqu'ils sont à nerf; et m'étant rendu compte de la dureté respective par plusieurs épreuves de pression (au

1. Dans l'article du mémoire de 1859 *sur les conditions de stabilité des rails en service*, j'ai admis comme seule épreuve utile pour les rails, celle de flexion sous la charge.

moyen d'un poinçon à surface constante), j'ai dû conclure qu'il n'existait pas une grande différence de dureté, mais qu'en tous cas, elle n'était pas en faveur du fer à grain.

En réfléchissant sur ce sujet, et en ayant égard aux divers phénomènes de fabrication dont je m'étais rendu compte dans les usines, j'ai été amené à cette conclusion, savoir :

Que le grain que l'on remarque d'ordinaire dans la tête du rail, sans le concours de fer fin, n'a cette apparence que parce que la tête du rail est la partie la plus massive, la moins comprimée et la plus relâchée dans sa contexture, par rapport aux autres qui se présentent à nerf.

Même le grain serré que l'on observe dans certaines cassures que l'on serait tenté de comparer au beau grain du fer forgé au bois, n'est pas du grain qui dénote la dureté, attendu qu'on rencontre souvent ce même grain dans les fers les plus mous, et surtout parce qu'il emprunte d'ordinaire cette apparence de la rupture transversale des fibres qui, moins concrètes et plus désagrégées dans la tête du rail, se brisent transversalement sans aucun arrachement.

C'est du grain fin, comparable à celui que nous remarquons en cassant un vieux rail, originairement en fer mou, qui s'est usé en pailles et déformé en lames; dans ce rail toute la section de rupture est à grain, parce que toutes les fibres sont désagrégées; il n'existe plus entre ses diverses parties la différence de contexture qui existait à l'origine, entre le corps du rail et le champignon, alors que le rail était neuf : les flexions réitérées qu'il a subies en service ont détruit l'agrégation primitive de telle sorte que le coefficient de la résistance du fer par unité de surface de la section, n'est plus que le cinquième ou le quart au plus de ce qu'il était primitivement.

Ce qui est ressorti nettement de mes investigations, c'est que lorsque le grain dans le fer à la houille n'est pas l'indice d'une désagrégation moléculaire engendrée par le recuit à haute température, c'est un symptôme manifeste de la présence d'un excès de silicates, propres à maintenir les molécules métalliques à l'état de division, telles que la silice, le graphite, le phosphore, etc.....

Cela est d'autant plus admissible, que la dureté dont il s'agit ne se rencontre guère dans ces fers, quoiqu'elle soit inséparable des fers forgés au bois, et des fers spathiques très-purs.

D'ailleurs, dans les trousses soudées non finies de laminage, on retrouve toujours pour caractère normal un grain quelconque, lors même que la trousse aurait été composée avec les fers les plus nerveux; parce que, je le répéterai, dans le fer ordinaire, quelle que soit sa contexture antérieure, dès qu'on le porte à haute température, les molécules se disposent d'après une agrégation spéciale suivant une certaine loi physique de contraction, qui détermine la densité absolue de la matière. D'un autre côté, le grain existe toujours avant le nerf, puisque ce dernier caractère en dérive et ne s'obtient (même dans les fers fins) que par l'étirage ou le martelage.

Le nerf n'est pas le produit d'une combinaison chimique ou le résultat d'une action physique comme le grain, le nerf n'est que le résultat d'une action mécanique, qui change la concrétion des molécules et les dispose en fibres.

Le nerf ou le grain ne spécifient donc rien par rapport à la dureté, car tous les fers à grain, quels que soient ses agrégats, peuvent devenir à nerf et que tous les fers nerveux peuvent être ramenés à grain.

Deux portions d'une même trousse, n'importe la nature du fer dont elle se compose, peuvent, par des procédés appropriés, fournir à volonté les deux caractères : l'une, étant portée à haute température et refroidie lentement, fournira inévitablement du grain ; l'autre, étirée ou martelée jusqu'à basse température, fournira une contexture à nerf.

Partant de là, nous pouvons poser en fait, que, par rapport à la dureté, le nerf étant *toujours le* produit d'une compression vive ou prolongée, il y aurait plus de raison à admettre une densité supérieure dans le fer rendu à nerf, que dans le fer à grain, qui dans les fers à la houille comme dans les fers impurs, est le caractère *normal* de la désagrégation moléculaire.

Note D. *Sur l'effet de l'action mécanique.*

En soumettant à l'épreuve de dureté et de flexion deux barres prises sur une même trousse, dont l'une obtenue à ses dimensions définitives par le laminage direct à haute température, l'autre laminée seulement jusqu'à un certain point, puis refroidie jusqu'au rouge brun et amenée ensuite par le laminage aux dimensions de la première, l'expérience montre que celle-ci conserve beaucoup de malléabilité, se courbe à tous degrés sans revenir de sa flexion (essais faits sur des barres de 5 centimètres d'équarrissage en fer au bois), se casse sans arrachements, et toute sa section est à grain, tandis que l'autre barre, finie de laminage à basse température, résiste beaucoup plus à la rupture, présente une cassure presque entièrement à nerf, et possède plus de dureté ; sous les mêmes efforts elle offre des courbures plus faibles, et par l'élasticité acquise elle revient des flexions restées permanentes dans l'autre.

La dureté et la ténacité dérivant de la compression mécanique à basse température, se constate généralement aussi sur les tôles et sur les barres qu'on lamine d'une manière continue presque jusqu'à froid. Les fers ainsi traités, cassent généralement à nerf, et résistent autant à la rupture, qu'ils offrent de dureté à la surface.

Mais si nous plaçons la barre et la tôle ainsi traitées dans un four pour les réchauffer, par exemple à la température à laquelle on termine les rails de laminage, après qu'ils seront froids nous verrons qu'ils auront augmenté en épaisseur, et cela en raison du plus ou moins de silicates hétérogènes que le fer renferme, ils auront acquis une malléabilité aussi grande qu'ils étaient durs et tenaces.

En tenant compte de ces éléments et de la remarque faite sur la grande élasticité fournie par des rails laminés accidentellement au rouge cerise, j'ai conclu qu'un traitement analogue, rationnellement appliqué sur le rail refroidi jusqu'à basse température, était le seul moyen capable d'en améliorer la durée, indépendamment de l'emploi des fers de qualité supérieure.

Ne cherchons plus la dureté et l'élasticité dans tel ou tel autre caractère de la texture ou par l'emploi de fers divers, n'achevons plus le rail très-chaud pour le laisser refroidir sans travail ultérieur de compression ; nous l'avons vu, le mélange de fers de nature diverse compromet la réussite de bonnes soudures, et le refroidissement lent n'est propre qu'à augmenter la ductilité du fer ; travaillons-le, au contraire, pendant qu'il achève son retrait, et nous atteindrons à un degré très-satisfaisant la dureté et l'élasticité requises.

TROISIÈME NOTE

Suite de la discussion de la Séance du 5 Juin 1863

La discussion qui a eu lieu dans la séance du 5 juin dernier, sur la compression des rails, a fait ressortir la nécessité d'un complément d'explications sur les points suivants :

1° Ce que j'entends par *basse température;*

2° L'influence du traitement à chaud et à basse température sur l'élasticité et la ténacité du fer;

3° La contradiction qui semble exister entre les faits observés par M. Kirkaldy de Glasgow et cette conclusion, que, contrairement à l'opinion reçue, le travail du fer à froid a pour effet de diminuer sa pesanteur spécifique.

Les observations qui se sont produites sont, du reste, une preuve de l'importance que la Société attache à la solution de la question pendante, savoir : l'amélioration de la durée des rails par une compression finale à basse température.

Dans ce qui suit, nous rechercherons :

Dans quel cas le réchauffage ultérieur d'une pièce de fer n'altère point, comme on le suppose, la densité primitive, et si la nature de la matière est la seule cause de variation de la densité;

Comment le laminage ou l'étirage à froid, tout en augmentant la ténacité, a pour effet, contrairement à l'opinion admise, de diminuer la densité primitive;

La cause qui a pu amener cette conclusion contraire aux notions admises, à savoir que le fer qui conserve sa croûte n'est pas plus résistant que lorsqu'il est tourné;

Le développement de ces trois points fera ressortir dans quel sens l'opinion reçue peut être fondée, et dans quelles limites nos conclusions peuvent être admises.

Nous ferons remarquer ici que nous pouvons être d'accord avec M. Kirkaldy sur ce point : que le travail à froid n'augmente pas la densité du fer, sans pour cela modifier en rien nos assertions, puisque, dans aucun passage de nos notes, nous ne faisons allusion au travail du fer à

froid. Les recherches de M. Kirkaldy nous ont semblé de nature à fortifier par des preuves les idées signalées déjà à l'attention de la Société.

CHAPITRE Ier

Examinons d'abord s'il y a perte ou non de densité par le réchauffage ultérieur d'une même pièce.

D'après nous, la densité du fer dépend : 1° *de la nature de la matière;* 2° de la température à laquelle le fer a été terminé de forge. (Ce dernier élément, d'une très-grande portée, semble négligé dans le livre de M. Kirkaldy, quoiqu'il ressorte de ses expériences de grandes variations de densité dues à la température.)

A température égale de finissage, un cube en fer ordinaire à la houille accuse une densité moindre qu'un cube semblable en fer au bois; dans ce cas, la différence est due à l'impureté de la matière. Si les températures de finissage étaient différentes, et que le cube en fer ordinaire à la houille fût terminé de forge à une température plus basse que l'autre cube, sa densité pourrait être supérieure à celle du cube en fer au bois.

Si nous prenons une pièce provenant d'une barre en fer laminé d'échantillon moyen, d'une densité connue, et si nous la réchauffons au *rouge clair*, cette pièce refroidie devra reprendre la même densité, parce que, les barres d'échantillon moyen étant ordinairement terminées au *rouge clair*, la contraction physique se trouvera agir dans les mêmes limites que lors du refroidissement après le laminage.

Dans le laminage, la compression par les cylindres ne fait qu'étendre la matière par l'allongement des cristaux; mais cette compression agissant sur la matière molle ne doit presque rien faire en faveur de la densité, puisque les dimensions de la barre se contractent ultérieurement par le retrait en refroidissant; c'est donc la quantité de retrait produite par le refroidissement qui doit déterminer la densité relative.

D'après cela, nous pouvons admettre que la même température, produisant sur un même fer un même relâchement dans l'agrégation moléculaire, le refroidissement à partir de cette température ramène toujours les molécules au même état d'agglomération. Une pièce pourra donc être réchauffée à diverses reprises à la même température, sans qu'elle accuse de variation sensible de densité.

Voilà, suivant nous, le seul sens dans lequel la première conclusion puisse être juste; en dehors de là elle ne l'est plus, car la même pièce portée par exemple au *rouge blanc* au lieu du *rouge clair*, ou portée seulement au *rouge brun*, doit accuser des densités variant d'une manière tout à fait indépendante de la nature du fer.

Pour démontrer de suite que cette définition a sa raison d'être, voici quelques résultats de densité obtenus par M. Kirkaldy.

M. Kirkaldy dit, page 88 : « Voulant constater l'influence du martelage « sur la densité du fer, j'ai fait battre des échantillons en fer laminé, et « pour éviter toute confusion, voulant éprouver ces échantillons dans « les conditions des autres, je les fis recuire après en avoir constaté la « densité. » Voici le résultat :

Échantillon (1 et 3) densité primitive.....	7,574;	après martel.	7,625;	après recuit	7,600
— (2 et 4) —	7,580	—	7,737	—	7,696
Moyennes.....	7,577		7,681		7,648
Différence....	0,104				

C'est-à-dire que le fer étant ordinairement martelé à une température beaucoup plus basse que celle à laquelle on termine les barres de laminage (M. Kirkaldy dit qu'il a dû recuire les échantillons parce qu'ils étaient écrouis), les types martelés ont accusé une densité de 0,104 de plus que celle qu'ils possédaient à l'état de fer laminé.

Prenons note ici de cette circonstance, savoir : que, si l'on peut admettre que la densité diminue par le traitement du fer à froid ainsi que nous le verrons ci-après, on peut constater, par les essais ci-dessus, que ce n'est pas la même chose lorsqu'on écrouit le fer en le travaillant à basse température; et remarquons en outre ce fait, qu'une fois que la plus grande densité est ainsi acquise par des moyens artificiels, elle se conserve en grande partie, même après le recuit. On le voit par les résultats que nous venons d'examiner : la densité primitive avant le forgeage était de 7,577, tandis que celle des échantillons recuits s'est maintenue à 7,648, c'est-à-dire de 0,071 plus grande; il est vrai que (d'après M. Kirkaldy) la température de recuit n'a été portée qu'au *rouge*, tandis que le fer laminé est ordinairement terminé au *rouge vif;* mais, eût-on porté la température de recuit à un degré plus élevé, les échantillons eussent conservé encore une densité supérieure due au nouvel état moléculaire, c'est-à-dire à la différence d'agrégation que possédait l'échantillon au point de départ du nouveau réchauffage de recuit.

Mais ne perdons pas de vue ce qu'il y a d'instructif dans les chiffres ci-dessus par rapport à la théorie émise.

Nous avons dit que le fer laminé accusait une densité de 7,577; admettons que ce soit là la densité du rail fini à chaud; or si, par une compression finale à basse température, on parvient à produire un écrouissage analogue à celui obtenu par M. Kirkaldy sur les échantillons martelés, n'est-il pas exact de dire que le rail peut aussi acquérir une densité plus grande? Or, une plus grande densité, par rapport au fer à rails, est synonyme de plus grande élasticité et de plus grande dureté.

C'est bien là aussi l'explication de ce fait cité par M. Nozo, savoir : que lorsqu'on prolonge le martelage des essieux presque jusqu'à froid, puis qu'on les recuit faiblement, ils possèdent une dureté et une

élasticité supérieures à celles qu'ils possèdent étant finis à chaud. L'action du marteau sur la matière qui achève sa contraction amène un contact plus parfait entre les molécules, contact artificiel, il est vrai, mais qui devient permanent par le prompt refroidissement de la pièce.

L'écrouissage sur les fers à la houille n'a guère pour effet de rendre la matière cassante; au contraire, comme on l'a vu ailleurs, le traitement à basse température a pour effet de donner de l'élasticité et de la ténacité aux fers les plus mous; mais ce n'est pas tout à fait la même chose quant à l'écrouissage des fers fins et très-purs; ces fers deviennent aciéreux, et par ce fait leur rupture peut devenir plus soudaine qu'elle ne le serait pour les mêmes fers terminés à chaud.

Quoi qu'il en soit, le léger recuit qu'on fait subir aux essieux finis à basse température est une garantie de leur bonne résistance; car, malgré qu'il détruise en partie la compacité obtenue, comme nous l'avons vu dans les essais de M. Kirkaldy, ce recuit ne détruit pas entièrement la grande densité acquise par le martelage à basse température.

En résumant ce chapitre, nous dirons que l'exposé ci-dessus démontre que la densité du fer ne dépend pas seulement de la nature de la matière, mais qu'elle peut se modifier par le fait de la température, combinée avec l'action mécanique de compression. Ce qui semble manquer à la première conclusion du livre de M. Kirkaldy, c'est la distinction qu'il faut faire entre les résultats de dilatation d'une pièce, simplement réchauffée au même degré que la température primitive de finissage, et la dilatation relative d'une pièce qui, après le réchauffage, subirait un travail ultérieur de condensation ou de déformation.

CHAPITRE II

Nous allons maintenant examiner cette autre conclusion : que, contrairement à l'opinion reçue, la densité du fer décroît au lieu d'augmenter par le traitement à froid.

Nous devons dire d'avance que, si nous nous arrêtons sur ce point, c'est que l'on confond souvent le traitement du fer à froid avec le procédé de compression à basse température, bien qu'il existe, comme nous l'avons déjà dit, une différence radicale entre ces deux termes.

Nous devons d'abord admettre qu'à l'égard de l'accroissement de densité du fer traité à froid, l'opinion générale semble s'être basée sur ce fait : que, si l'étirage ou le laminage du fer à froid est propre à durcir ou à écrouir la matière, il doit nécessairement avoir pour conséquence aussi de la condenser; quoique ce fait puisse paraître exact lorsqu'on ne considère que la surface, ou quelque partie seulement de la pièce de fer traitée à froid, il cesse d'être vrai lorsqu'on considère la densité par rapport à la masse entière.

Pour rendre cette explication plus claire, prenons un cube en fer forgé et soumettons-le, à l'état froid, à un martelage lent, pratiqué alternativement sur toutes ses faces : quelque précaution que l'on prenne dans ce forgeage, les faces non soumises à la percussion prendront tour à tour un certain bombement, et au milieu il se manifestera des petites crevasses, qui s'étendront et s'ouvriront de plus en plus, au point de diviser le cube en plusieurs fragments.

Or, si nous considérons isolément les fragments du cube, nous en rencontrerons quelques-uns dont la densité aura augmenté; mais il est évident aussi que, si nous avions pesé le cube à divers moments pendant le forgeage à froid, nous aurions constaté, dans la densité de la masse entière, une diminution progressive dérivant de la désagrégation artificielle, provoquée par le changement de forme du cube et le déplacement des molécules métalliques, désagrégation qui a fini par réduire le cube en morceaux.

Lorsqu'on veut durcir les fusées des essieux de wagons, on les étampe à très-basse température à un diamètre aussi rapproché que possible du diamètre définitif; mais aussi lorsqu'on forge une pièce en rond jusqu'à basse température, on constate généralement au centre de la section trois fentes rayonnant du centre à la circonférence (nous avons montré bien souvent ce fait à des personnes qui l'ignoraient); nous devons donc croire que, si la surface de la fusée durcit par l'étampage à très-basse température, la densité du fer à la surface augmente dans le même rapport; mais il est difficile d'admettre que la densité de la masse puisse augmenter, puisqu'elle se désagrége au centre et se fend. Si l'on prolonge le forgeage en rond jusqu'à l'état froid, on voit les fentes centrales gagner la surface, et diviser le cylindre par secteurs.

Autre chose est donc de battre et de comprimer une pièce à basse température, alors que la matière est encore à l'état mou, susceptible de changer de forme, de se comprimer sans altérer son agrégation; et autre chose de battre ou de comprimer une masse devenue solide sous un clivage de cristallisation définitif.

Par le travail à basse température, on serre les pores pendant que le fer est en train de faire sa contraction; on favorise par là le rapprochement des molécules métalliques au profit de la densité; par le travail à froid (surtout lorsqu'il s'agit de fers impurs), on agit sur une masse en état de dilatation provenant de la nature réfractaire des silicates, qui, en se solidifiant à des températures plus élevées que les molécules métalliques, constituent dans la masse un état d'expansion anormal par rapport à l'état moléculaire propre au fer pur.

On peut admettre, en quelque sorte, que la percussion ou la compression sur la masse de fer à l'état froid agissent dans des conditions analogues au choc sur la larme batavique; c'est-à-dire que les agrégats cristallisés, n'étant pas susceptibles de changer de forme, se brisent; que les

molécules métalliques se désagrégent en perdant leur cohésion initiale, et que le fer doit perdre sa compacité.

(Voir dans les notes précédentes la perte de résistance des rails devenus cassants par les chocs et les vibrations.)

Dans les fers étirés comme le fil de fer, les molécules métalliques, amenées successivement en contact avec la filière, s'allongent, s'enclavent entre elles; mais, ces modifications ayant lieu sous l'influence de la chaleur produite par le frottement, le fil peut conserver sa ténacité, et, recuit, avoir une ténacité plus grande que celle propre à la verge laminée à chaud, qui a servi à le fabriquer : l'expérience prouve néanmoins que la densité dans le fil de fer ne dépasse guère la densité primitive de la verge, et qu'au contraire elle est d'autant plus faible que le fil de fer conserve un diamètre plus grand.

Voici du reste quelques résultats obtenus par M. Kirkaldy sur des fils de fer de divers diamètres :

	DENSITÉ	
	avant le recuit.	après le recuit.
Échantillon (5) de $3^m/_m$ environ de diamètre.	7,650	7,669
— (6) de $6^m/_m$ —	7,577	7,555

On voit, par ces données, qu'après le recuit il y a eu augmentation de densité pour le premier échantillon, et diminution pour le second; ces deux résultats peuvent s'expliquer facilement par notre théorie : le premier type, ayant subi une extension plus grande que le second, doit se contracter davantage après le recuit; l'autre type ayant subi un moindre travail de réduction et d'extension (on peut supposer que la verge primitive devait avoir 8 à 9 millimètres), doit conserver un état plus grand de désagrégation dans sa section, état que le recuit n'a pu qu'augmenter. Il ressort encore de cette comparaison, que l'étirage du fil de fer, même jusqu'à l'état cru ou écroui (*hard drawn*), n'augmente pas la densité, puisque cette densité se trouve en moyenne de 7,580, tandis que celle du fer en barre est de 7,740, c'est-à-dire 0,160 de plus. Ce fait est encore confirmé par les expériences rapportées page 346 : où la densité du fer laminé est de 7,574 et 7,580, et de 7,625 et 7,737 pour le fer martelé, tandis que la moyenne de densité du fil de fer n'est que de 7.580; nous pouvons donc admettre que les choses se passent bien dans les conditions admises plus haut, que le travail à froid, tout en condensant la surface, désagrége la masse. Ajoutons que, sur le fil de fer, cette désagrégation serait bien plus considérable et l'étirage presque impossible si la chaleur qui se développe dans la filière n'entretenait pas une température moyenne, favorable au changement de forme des molécules métalliques.

Par ce qui précède, nous croyons avoir démontré : dans quelles limites

l'opinion reçue peut être fondée; dans quelles circonstances l'opinion de M. Kirkaldy peut être admise; et surtout la grande différence qui existe entre le travail du fer à froid et la compression à basse température.

Comme on l'a vu, travailler le fer à froid, c'est travailler une roche de cristallisation; tandis que le manipuler à température basse, aussi basse qu'elle puisse être relativement à l'état chaud, c'est agir sur une masse plus ou moins susceptible d'acquérir une condensation artificielle supérieure à celle qui dérive du retrait physique de la matière en refroidissant.

CHAPITRE III

Nous allons examiner maintenant cette autre conclusion de M. Kirkaldy, à savoir : que c'est à tort que l'opinion générale attribue plus de résistance au fer brut, qui conserve sa croûte, qu'au fer tourné ou raboté.

D'après cette conclusion, il ne serait pas vrai que le corps d'un essieu, la tige d'une bielle, un arbre, un tirant en fer, fussent plus résistants et plus élastiques étant bruts de forge que lorsqu'ils sont tournés ou rabotés à la surface, et l'opinion généralement admise que la croûte a une grande part dans la résistance d'une pièce, serait erronée.

Hâtons-nous de dire qu'il ne saurait en être ainsi; l'opinion d'ingénieurs et de constructeurs éminents est là pour prouver le contraire; nous avons déjà vu du reste, dans le chapitre précédent, que les fusées d'essieux, étampées aussi près que possible du diamètre définitif, offrent d'autant plus de résistance et de durée qu'on a moins enlevé de matière par le tournage.

Nous profiterons de l'occasion pour répondre ici à l'objection soulevée par un membre dans la discussion du 5 juin, à savoir que la croûte n'a pas une très-grande influence sur la durée des rails. Nous signalerons à la Société ce fait, qu'en enlevant la croûte au burin sur une portion de la surface de roulement d'un rail on voit cette partie s'user et se réduire en pailles avec une rapidité beaucoup plus grande que le restant de la surface qui conserve sa croûte.

Dans les changements de voies et plaques tournantes, mis en service sur diverses lignes, où il entre des barres en fer forgé dressées et rabotées, formant continuité de voie, on a toujours vu ces barres s'user plus rapidement que les rails bruts auxquels elles se raccordaient, et cela, remarquons-le bien, malgré la supériorité de qualité qui s'attache au fer marchand et au fer forgé par rapport au fer dont se composent les rails ordinaires.

Il semblerait donc possible d'admettre que, plus la croûte serait épaisse, plus longue serait la durée du rail.

Au chemin de fer du Nord, où les questions d'économie sont certes fort bien comprises, on a fait rouler depuis longtemps les bandages de roues de wagons, bruts de forge; le résultat semble avoir été que, par cette mesure, le premier retournage était de beaucoup retardé; or, qu'est-ce, sinon la croûte, qui procure ce bénéfice? Si cela tenait à la nature du fer, les retournages seraient également distancés, tandis qu'il est bien constaté sur toutes les lignes que la première période d'usure est généralement la plus longue.

D'où vient donc que M. Kirkaldy nous dit que l'opinion reçue à cet égard est fausse? Cela tient, je crois, à ce que sa conclusion découle des essais suivants, que nous allons discuter.

Nous donnons ici les résultats de ces essais; car, bien qu'ils ne prouvent pas d'une manière péremptoire les déductions qu'on en a tirées, ils sont intéressants à plus d'un titre, à cause de la grande exactitude qui a présidé aux recherches du persévérant expérimentateur de Glasgow.

MARQUE DU FER ou provenance DES ÉCHANTILLONS.	DIAMÈTRE en MILLIMÈTRES.	ÉTAT dans lequel ils ont été soumis à l'épreuve.	CHARGE de rupture en tonnes de 1000 k. par pouce carré.	QUANTITÉS EN PLUS OU EN MOINS.
Dundyvan	0m,030	Brut	23t,2	m. 210k
Id.	0 ,025	Tourné	25 ,3	
Bagnall	0 ,030	Brut	24 ,9	m. 200
Id.	0 ,025	Tourné	25 ,1	
Glascow	0 ,030	Brut	24 ,7	m. 400
Id.	0 ,025	Tourné	25 ,1	
Govan <>	0 ,030	Brut	26 ,1	p. 200
Id.	0 ,025	Tourné	25 ,9	
Bouling	0 ,030	Brut	28 ,2	p. 400
Id.	0 ,025	Tourné	27 ,8	

Il résulte, de ces expériences, que dans les trois premiers essais comparatifs les échantillons tournés, loin d'être moins résistants, comme on aurait pu le supposer, ont offert de deux à quatre cents kil. de résistance de plus par pouce carré.

Toutefois, les deux derniers échantillons tournés se seraient comportés d'une manière inverse, puisqu'ils ont offert une résistance de deux à quatre cents kilog. de moins.

Que peut-on conclure de cela? Évidemment, que la résistance du fer est sensiblement la même dans les deux cas. M. Kirkaldy lui-même laisse entrevoir quelques doutes; car il dit, page 27 : « Il ressort des der- « niers essais que les échantillons bruts ont résisté davantage que ceux

« tournés; la raison en est que les derniers étaient évidemment plus durs « que ceux tournés, ainsi que cela résulte de la plus faible contraction « à la section de rupture, qui a été comme 4,53 est à 48,8; il faut donc « admettre que ces types ont pu provenir de portions de barres moins « homogènes, dont quelques parties étaient altérées, etc...

« Il ressort, du reste, de ces essais, que la surface externe du fer brut « était tant soit peu plus dure que l'intérieur, vù que les types tour- « nés ont subi une contraction de section et un allongement plus grand « par l'effort de rupture, et que d'ailleurs cela est confirmé aussi par « l'apparence de la texture. »

Ces remarques, comme on le voit, sont de nature à atténuer l'importance de l'opinion émise par rapport à la troisième conclusion, et semblent ici parfaitement d'accord avec l'opinion reçue. Nous ne pouvons pas nous expliquer en conséquence pourquoi M. Kirkaldy a persisté dans son opinion. Pour notre part, il nous semble difficile de pouvoir admettre que, sur deux barres de provenance différente, il ait rencontré du fer altéré et plus dur; et que précisément ce fer plus dur se soit rencontré dans les deux échantillons bruts.

De ce que quelques types tournés ont résisté un peu plus que les types bruts, ou *vice versa*, en tant qu'on se rapporte aux essais précités, il ne semble pas possible de conclure qu'un état puisse offrir plus de résistance que l'autre, attendu d'abord que le fer laminé rond ne possède jamais, au sortir des cylindres, un diamètre aussi exact que lorsqu'il est tourné (sur un rond de 30 millimètres, il n'est pas rare de rencontrer un millimètre de faux-rond); or, une irrégularité, même très-faible sur le diamètre, constitue facilement une différence de 5 à 6 millimètres carrés dans la section de résistance. Plus les appareils d'épreuve seront exacts, plus une semblable différence s'accusera dans les résultats; eh bien! en calculant les différences entre les charges de rupture, on trouve que ces différences correspondent précisément à des variations de 5 à 6 millimètres carrés sur la section totale (de 644 millimètres carrés).

D'un autre côté, il faut tenir compte de ce que, tant qu'il s'agit de barres de faible échantillon rectangulaires ou rondes, comme celles sur lesquelles ont porté les expériences précitées, l'action de compression par les cylindres ayant pu pénétrer aisément à *cœur* fait que la matière au centre est aussi dense que celle à la surface; ajoutons que, d'après notre théorie, les barres de faible section étant finies au laminage à une température moins chaude, elles doivent acquérir plus de dureté et de ténacité que celles de plus forte section, finies toujours plus chaudes; sur ces dernières, l'action de compression par les cylindres ne peut pénétrer à *cœur*, à cause de l'état pâteux de la matière interne. On peut même démontrer l'exactitude de ce fait par les expériences comparatives suivantes empruntées à M. Kirkaldy.

Les barres qui ont servi aux essais provenaient de fers de la même marque *Govan* <> (*Tab.* B).

1°	Un échantillon	laminé à	30$^{m}/_{m}$	environ	rompu à	26^{t},1 par pouce carré.
2°	—	tourné à	25	—	à	25,9 —
3°	—	forgé à	25	—	à	25,8 —
4°	—	laminé à	25	—	à	26,6 —
5°	—	laminé à	16	—	à	26,5 —

Les résistances diffèrent peu entre elles, mais elles confirment notre manière de voir en ce sens :

1° Que la résistance des échantillons laminés des petits diamètres n° 4 et 5 est supérieure à la résistance du n° 1 d'un plus grand diamètre;

2° Que la résistance du fer laminé est supérieure à celle du fer forgé ou tourné, échantillons n°s 2, 3 et 4;

3° Que, les résistances des échantillons laminés n°s 1, 3 et 4 différant peu entre elles, on peut admettre que le fer réduit au diamètre de 30 millimètres, a acquis, sous les cylindres, son maximum de ténacité et que son état moléculaire est homogène pour toute l'étendue de sa section.

Il devient donc évident que de tels diamètres seraient trop faibles pour servir à démontrer que la croûte n'augmente pas la ténacité du fer.

Nous ne pouvons donner de chiffres exacts relativement à l'influence de la croûte sur la ténacité, parce que dans nos nombreux essais nous n'avons pu nous servir que d'appareils d'épreuve assez grossiers, tels qu'on les rencontrait autrefois dans les usines, ou bien d'appareils improvisés dans les ateliers; mais nous croyons néanmoins devoir signaler à la Société un essai à la traction, fait il y a plus de dix ans sur deux barreaux carrés : l'un pris dans le corps d'un rail de 30 kilog. le mèt., lequel conservait deux des côtés bruts de laminage; l'autre pris au milieu du champignon (une pointe d'aiguille cassée après le rabotage nous a fourni les deux barreaux). Le résultat a été que le barreau pris dans le corps du rail a accusé une résistance de 1/8 plus forte que celle offerte par le barreau pris dans le *cœur* du champignon.

D'un autre côté, si la finesse du grain peut être un indice de la bonne résistance du fer, que doit-on conclure des fers de gros échantillons, qui dans la cassure présente du grain plus fin dans la zone externe qu'au centre? Nous avons vu souvent dans les fractures d'essieux coudés en bon fer de Suède, et même dans ceux forgés avec nos meilleurs fers au bois, du grain fin au pourtour, et au centre des cristaux cubiques ou octaédriques d'une grosseur prodigieuse.

Admettra-t-on qu'un barreau pris au centre par le rabotage sera aussi compacte et aussi résistant à la traction qu'un barreau semblable pris à la surface?

Un paquet pour rail simplement dégrossi donne à la cassure un grain relativement plus serré dans la zone externe qu'au centre, qui par sa contexture est parfaitement comparable aux belles fontes d'Écosse très-graphiteuses. Otons la croûte, et nous trouverons que la matière interne

ne possède guère plus de ténacité qu'une pièce de fonte de même équarrissage.

Ainsi donc, la troisième conclusion ne saurait se justifier ni par les essais précités, ni par les faits pratiques les plus ordinaires.

En complétant notre raisonnement au sujet de la ténacité de la matière centrale dans les grosses pièces de forge, nous croyons qu'il ne sera pas indifférent de signaler un fait intéressant à plus d'un titre, tiré des expériences de M. Kirkaldy, fait qui démontre quelle erreur on peut commettre dans le calcul de la résistance de pièces de forte section.

Après les expériences faites sur la résistance du fer neuf de diverses provenances, M. Kirkaldy a voulu constater aussi la ténacité du fer de ferraille pris sur les grosses pièces de forge; à cet effet, il fit tailler par le rabotage des barreaux dans le cœur d'un tourillon de manivelle d'un vieil arbre coudé de navire à hélice, ainsi que des barreaux pris longitudinalement dans les bras de la manivelle.

Deux barreaux pris longitudinalement au centre du tourillon de la manivelle se sont rompus, l'un sous la charge de 21t,5, et l'autre sous 19t,8, moyenne 20t,6 par pouce carré, = 644 millimètres carrés.

Deux autres barreaux pris dans le sens de la longueur des bras de manivelle à la surface externe se sont rompus, l'un sous la charge de 20t,2, et l'autre à 17t,4, moyenne 18t,8 par pouce carré.

Sans vouloir rechercher si ces chiffres sont suffisants au point de vue de la sécurité de tel ou tel autre arbre coudé, par rapport aux efforts qu'il a à soutenir, nous nous contenterons de constater la différence qui existe entre la cohésion moléculaire ou la ténacité d'une barre en fer ordinaire, ramenée par exemple à 30 millimètres de diamètre par le laminage, et celle que peut fournir une barre de même section prise sur une grosse pièce de forge, fût-elle en fer de qualité supérieure. Nous avons vu que le fer laminé en faible échantillon se casse en moyenne sous une charge de 26 tonnes par pouce carré, tandis que les barreaux pris parallèlement à l'axe dans le *cœur* du tourillon de la manivelle se sont rompus sous la charge de 20 tonnes, c'est-à-dire sous une charge inférieure de 6 tonnes. Comme on le voit, si, dans le calcul d'une pièce de forge appelée à résister à de grands efforts, comme par exemple un essieu coudé, on attribuait une résistance égale à celle que l'on obtient ordinairement sur les fers de faible section, l'essieu coudé serait évidemment trop faible et devrait se rompre prématurément.

Cette réduction de résistance est due à deux causes, l'une au défaut d'une compression suffisante lors du forgeage (dérivant de l'insuffisance du poids du marteau on du manque d'énergie dans la percussion), dont l'effet s'est borné à une faible profondeur au-dessous de la surface; l'autre au manque de compacité provenant du refroidissement lent de la pièce où la matière interne, ayant atteint une plus basse température à la surface, se trouve renfermée dans une enveloppe, dont la roideur

empêche d'atteindre le même degré de concrétion. Pour qu'il en fût autrement, il faudrait que le refroidissement progressât du centre à la circonférence, au lieu de se produire inversement de la circonférence au centre.

C'est cette même circonstance qui nous a porté à dire, pour les rails, que la contraction interne se fait au détriment de la densité.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup sur les résultats obtenus à la traction sur les barreaux pris extérieurement sur les bras de la manivelle, barreaux qui se sont rompus sous la charge de 18 tonnes par pouce carré, accusant par conséquent une réduction de 8 tonnes sur la résistance du fer laminé, et une différence de 2 tonnes en moins sur les barreaux pris au centre du tourillon; attendu que si les barreaux ont été pris longitudinalement aux bras de la manivelle et à la surface, il ne s'ensuit pas qu'ils soient comparables aux premiers, car ces derniers, pris parallèlement à l'axe du tourillon, avaient la fibre dans le sens longitudinal, tandis que les autres étaient à fibre croisée, c'est-à-dire transversale au barreau; nous conclurons seulement, qu'en comparant la résistance du fer ordinaire laminé, dans les dimensions auxquelles on l'a soumis jusqu'ici aux essais, à la résistance des barreaux provenant de la manivelle, le fer central du tourillon a offert 25 pour 100 de moins de résistance, et la diminution pour les barreaux à fibre transversale a été de 31 pour 100.

Cette constatation est précieuse pour l'industrie, et sous ce rapport les essais de M. Kirkaldy méritent une grande considération.

CHAPITRE IV

Reprenant la discussion si savamment soutenue par M. Goschler dans la séance de la Société du 5 juin, nous ferons observer que dans l'industrie du fer, surtout du fer au bois, on prépare à très-basse température au martinet et à l'espatard divers articles de commerce qui doivent avoir une grande résistance.

Ainsi, c'est sous l'espatard qu'on aplatit des barres laminées destinées aux cercles de tonneaux, barres qui sont terminées presqu'au *rouge-noir*.

La résistance du fer à cercle est double de celle du fer laminé qui a servi à le préparer : battu au marteau pendant qu'il refroidit, le fer à cercle prend une grande élasticité et sert souvent pour faire des ressorts.

Les barres pour cercles de roues de voitures sont souvent *martinées* au rouge sombre, afin de leur donner plus de dureté et de résistance à l'usure et à la rupture.

Les mêmes motifs font marteler à basse température les fusées d'essieux de charrettes. Pour mieux utiliser la dureté acquise et leur conserver la croûte, les fusées sont simplement rodées avec la boîte, à l'aide de l'éméri ou du sable.

Les barres destinées à la fabrication des broches, celles destinées à faire les cylindres cannelés pour les filatures, sont martinées afin de leur donner de la densité et de la compacité pour qu'elles résistent mieux à l'usure et pour que les dents conservent leur pointe.

Les pelles, les socs de charrue, les fers de scie, comme l'a si bien fait remarquer M. le président, et une foule d'autres articles, sont laminés ou martelés à très-basse température, afin de leur donner de la dureté; les tôles pour le fer-blanc sont aplanies à froid pour leur donner l'élasticité qu'elles conservent après l'étamage.

Pour que le fer acquière de la dureté et de l'élasticité, il ne doit être chauffé que faiblement : de telle sorte qu'arrivé à la fin de l'opération il ne soit plus qu'au *rouge noir;* achevé plus chaud, il ne saurait posséder les qualités requises.

J'ai fait plusieurs expériences sur la dureté et la ténacité de ces fers, et j'ai toujours constaté des résultats frappants; entre autres est le suivant, fait par MM. les ingénieurs des établissements de construction de Couillet (Belgique), consistant à étirer d'un mauvais lopin en fer puddlé, corroyé aux cylindres, deux barreaux dont je présente des types à la Société, l'un étiré directement à chaud; l'autre étiré ainsi jusqu'à un certain point, puis abandonné au refroidissement jusqu'au *rouge brun* et fini ensuite au même équarissage que le premier, mais à basse température. Ces barreaux étant froids ont été soumis à la rupture dans des conditions réglées : le barreau fini à chaud s'est cassé après trois coups de gros marteau, tandis que celui terminé à très-basse température ne s'est cassé qu'après 22 coups du même marteau.

Un bout du barreau terminé à basse température a été réchauffé au *rouge blanc;* étant devenu froid, il a été soumis à la rupture dans les conditions précédentes, et il s'est cassé après neuf coups de marteau. Les cassures des échantillons finis à chaud et recuits sont grenues et sans arrachements, tandis que la cassure du barreau fini à basse température est à nerf et très-arrachée; on ne saurait croire que ce soit le même fer.

Il ressort de ces essais que la densité et la ténacité acquise par le travail à basse température a été tellement grande que, malgré un fort réchauffage, l'échantillon recuit a conservé encore deux tiers en sus de la résistance, ou plutôt de la cohésion moléculaire, propre à l'échantillon fini à chaud.

Nous ajoutons ci-dessous quelques résultats, qui se trouvent relatés dans le livre intéressant de M. Kirkaldy, et cela avec d'autant plus d'empressement qu'ils sont exprimés en chiffres et possèdent un caractère de grande précision.

M. Kirkaldy dit (sect. VIII, § 59) : « Désirant expérimenter quelle est « l'influence du martelage sur le fer laminé, je fis marteler divers échan- « tillons provenant de mêmes barres laminées, qui avaient fourni les « types éprouvés dans leur état primitif. »

Voici le tableau qui donne ces essais :

MARQUE DU FER ou provenance DES ÉCHANTILLONS.	DIAMÈTRE en MILLIMÈTRES.	ÉTAT dans lequel ils ont été soumis à l'épreuve.	CHARGE de rupture en tonnes de 1000 k. par pouce carré.	DIFFÉRENCES en PLUS.
Dundyvan.....	0m,030	Laminé.....	23t,2	1300k
Id.....	0 ,026	Martelé.....	24 ,5	
Glasgow.....	0 ,030	Laminé.....	24 ,7	700
Id.....	0, 026	Martelé.....	25 ,4	
Govan <>.....	0 ,030	Laminé.....	25 ,8	300
Id.....	0 ,025	Martelé.....	26 ,1	
Loumoor.....	0 ,030	Laminé.....	28 ,0	2100
Id.....	0 ,020	Martelé.....	30 ,1	

M. Kirkaldy continue : « La différence relative au dernier résultat est « de beaucoup plus grande, parce que l'échantillon forgé n'avait pas été « recuit comme les autres après le martelage, dans le but de faire dispa- « raître l'écrouissage produit par le marteau. » (Cela indique que le fer a été battu jusqu'à très-basse température, car autrement il ne peut y avoir écrouissage.)

Ainsi, par sa dernière remarque, M. Kirkaldy nous apprend que tous les échantillons martelés avaient été soumis au recuit avant de les soumettre à l'épreuve, à l'exception toutefois du dernier, lequel a offert une résistance de plus de deux tonnes en sus de l'état primitif. Cela revient à dire que, si les autres échantillons n'avaient pas été recuits, la différence en faveur des échantillons martelés eût été pour tous de beaucoup plus grande, même pour le premier essai comparatif; d'où il ressort que, malgré le recuit, l'échantillon martelé présente, par rapport à l'échantillon laminé, de 1,300 kilog. par pouce carré.

M. Kirkaldy termine en disant : « Le fer avait été rendu généralement « plus dur par le martelage, ainsi que le prouve la moindre contraction « de la section de rupture. »

Qu'on nous permette d'insister sur les résultats obtenus par M. Kirkaldy, car ils confirment nos vues relativement aux effets que nous avons cru pouvoir assigner à la compression finale à basse température, et cela d'une manière indépendante de toute autre condition de qualité par rapport à la matière.

En terminant, je prie la Société de vouloir bien tenir compte du mobile qui m'a conduit à présenter cette note; et de ne voir dans la discussion des expériences de M. Kirkaldy que la recherche de la vérité relativement à des questions d'un grand intérêt pour l'industrie, et en particulier pour celles qui font l'objet de nos recherches.

RAPPORT

SUR UN

NOUVEAU SYSTÈME DE TRACTION

Sur les plans inclinés des chemins de fer et des mines, au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire de M. Thomas Agudio,

PAR M. MOLINOS.

Le nouveau système de traction proposé par M. Agudio pour les plans inclinés, constitue à nos yeux le plus important perfectionnement qui ait été apporté à ce moyen de transport depuis son introduction dans la construction des chemins de fer. Il s'offre à l'exàmen de la société dans des conditions toutes spéciales dignes du plus grand intérêt, car l'étude théorique très-complète que M. Agudio présente à l'appui de son système a reçu la consécration de l'expérience. Le système de M. Agudio a été appliqué sur un plan incliné de $27^{m}/_{m}$ à $32^{m}/^{m}$ de pente et de 2400^{m} de longueur établi sur une portion abandonnée de la ligne de Turin à Gênes (à Dusino). La dépense occasionnée par cet essai en grand a été supportée en partie par le gouvernement italien, en partie par une société promotrice du système, composée d'hommes qui occupent des positions éminentes en Italie.

De nombreux essais ont eu lieu en présence de commissions nommées par le gouvernement italien, par l'Institut royal de Milan et une société anglaise. Ils ont tous donné les résultats les plus satisfaisants; nous y reviendrons dans la suite.

Afin de bien faire comprendre toute la valeur du résultat atteint par M. Agudio, il est intéressant de spécifier les défauts inhérents aux plans inclinés actuels; nous trouverons dans ce rapide examen les motifs qui se sont opposés à leur généralisation, et il sera facile d'apprécier les progrès réalisés par la solution nouvelle.

Que les plans inclinés ne se soient pas répandus dans la construction des chemins de fer placés dans des circonstances ordinaires, c'est ce qu'il est facile de concevoir. En supposant même la solution rendue parfaite

sous tous les rapports, l'exécution d'un plan incliné pour passer un point difficile unique constitue dans l'exploitation un changement de système qui équivaut à un obstacle. Il est donc naturel qu'on cherche même au prix de plus grandes dépenses d'établissement, et quelquefois de traction, à conserver à l'exploitation une unité qui est un réel avantage.

Mais ce qui au premier abord semble plus extraordinaire, c'est que les plans inclinés n'aient pu prendre possession du domaine qui leur paraissait si naturellement dévolu, nous voulons parler du passage des montagnes; c'est que les ingénieurs éminents qui ont étudié avec le plus de soin et d'autorité cette grande question aient été conduits à les rejeter, et à chercher dans l'extension plus ou moins large des limites du système ordinaire de traction des solutions qui exigent encore d'énormes sacrifices de temps et d'argent. Les motifs de cette exclusion sont pourtant très-légitimes et très-fondés; et il suffit de pénétrer quelque peu dans les détails de la question, pour reconnaître que les plans inclinés ne présentent qu'une ressource plus spécieuse que réelle, et qu'en somme ils ont été jusqu'à présent tout à fait impropres à fournir une solution applicable sur une large échelle.

Il n'est pas nécessaire pour s'en convaincre d'aborder des exemples particuliers. Quelques considérations très-simples et très-générales sur les conditions communes à tous les passages de montagne suffiront à montrer très-clairement la nature de la difficulté à vaincre. Dans sa belle étude sur la traversée des Alpes, M. Flachat a traité ce sujet de la manière la plus saisissante et la plus lumineuse. Nous pouvons en deux mots résumer une des plus frappantes observations recueillies dans cet ouvrage; elle suffira ainsi à notre sujet.

Lorsqu'on approche des cols à franchir, l'inclinaison du thalweg des vallées augmente dans de fortes proportions, et dépasse toujours de beaucoup la pente qu'on peut donner au chemin de fer ; ainsi dans la plupart des vallées principales des Alpes, le thalweg atteint, près des cols, des pentes de $0^m,20$, $0^m,30$ par mètre et quelquefois bien plus. Quel est donc le moyen de tracer la ligne? Il n'en est qu'un seul ; il faut chercher dans les vallées secondaires qui s'ouvrent sur les flancs des vallées principales l'espace nécessaire pour se développer, et la conclusion importante qui en découle est que la ligne adoptée doit non-seulement admettre des pentes, mais encore des courbes, dont le rayon peut être certainement plus ou moins augmenté par la faculté d'accroître l'inclinaison, mais qu'il est impossible de faire disparaître complétement.

Les dispositions actuelles des plans inclinés peuvent-elles répondre à ce programme? On peut dire que non.

Jusqu'à présent les plans inclinés, destinés au service des voyageurs sur les lignes importantes, ont été renfermés strictement dans les limites d'exécution suivantes :

Une pente relativement faible, au point que tous pourraient être exploités par des locomotives ;

Une longueur qui ne dépasse guère 3 kilom. à 3k,5, et est très-généralement beaucoup moindre ;

Un alignement droit sans aucune courbe.

Il importe de remarquer, qu'il n'est pas une seule des données de ce programme rigoureux dont on puisse s'affranchir sans être conduit à resserrer les autres dans des limites plus étroites.

En effet :

Si on veut construire un plan incliné à grande pente, pour remorquer un train un peu pesant, le câble prend un diamètre considérable ; si on veut employer des courbes, il faut renoncer au câble plat ; la roideur du câble rond cause de grandes pertes de travail ; il s'use beaucoup sur les poulies de la voie dans les courbes, parce qu'il s'y trouve dans des conditions d'autant plus mauvaises que son diamètre est plus gros ; si le plan incliné est long, le poids de ce câble à enlever au départ du train n'est pas non plus un inconvénient négligeable.

D'ailleurs, la longueur est limitée et les courbes sont proscrites par une condition de sécurité impérieuse ; en effet, le train est remorqué par la machine fixe, sans qu'il soit possible d'arrêter ou de régler son mouvement autrement qu'à l'aide de cette machine. Il est donc absolument nécessaire que le mécanicien voie le train, et on peut dire que cette condition n'est presque jamais convenablement remplie.

Enfin, si on excepte le chemin de fer de la Croix-Rousse récemment établi, les accidents terribles qui peuvent résulter d'une rupture de câble n'ont jamais été conjurés, non-seulement sur des pentes qui dépassent l'angle de frottement, mais même sur des inclinaisons un peu fortes, supérieures par exemple à 6 cent. par mètre. Et en effet, la difficulté est considérable si on veut la vaincre sans imposer au chemin de fer un matériel spécial. Aujourd'hui, nous regardons cette dernière question comme résolue ; on peut, sans augmenter considérablement le poids mort, ajouter à la queue du train un truc muni de freins agissant sur le rail par serrage, semblables à ceux que nous avons nous-même établis sur le chemin de fer de la Croix-Rousse, et soit que la pente dépasse l'angle de frottement, soit qu'elle lui soit inférieure, retenir le train en cas de rupture du câble et supprimer tout danger.

Mais pour légitimer l'exclusion des plans inclinés, il reste toujours :

1° La nécessité de les construire en alignements droits, ce qui ne permet pas de suivre les inflexions du terrain ;

2° La faible limite imposée à leur longueur et à leur pente, tant par le poids du câble que par la condition de sécurité résultant de la liaison absolue du train avec la machine fixe.

Tels sont les graves inconvénients inhérents au système des plans in-

clinés que M. Agudio a entrepris de faire disparaître. Nous allons décrire les dispositions ingénieuses et nouvelles qui lui ont permis d'atteindre ce résultat.

Dans le système employé jusqu'à ce jour, le câble remplit une double fonction; il retient le convoi sur le plan incliné et lui communique le mouvement ascensionnel. Ces deux fonctions simultanées lui imposent, quant à sa dimension, des exigences contradictoires; car, pour assurer la sécurité du convoi, il faut lui donner une section et un poids assez considérables pour le mettre à l'abri de toute rupture, tandis qu'au point de vue de l'économie du travail développé, son poids devrait être le plus petit possible afin de réduire à sa plus faible expression la somme des résistances passives qui proviennent de la roideur et du frottement du câble dans sa marche.

Pour faire disparaître cette contradiction, en satisfaisant cependant aux conditions exigées, M. Agudio a imaginé de substituer au câble unique deux câbles distincts, indépendants l'un de l'autre : l'un est destiné à assurer la sécurité du train remorqué, l'autre joue le rôle de câble moteur.

Le premier câble a une section très-forte pour parer à toute éventualité; il est fixe et immobile au milieu de la voie et sert à donner le point d'appui au convoi. Ce câble, appelé par l'auteur *câble d'adhérence*, fait l'effet d'un *câble toueur*, car il passe deux fois sur les gorges de deux tambours disposés sur l'axe longitudinal d'un chariot placé à la queue du train. La rotation de ces tambours, produite, comme nous allons le voir, par le mouvement de l'autre câble, les force à se développer sur le câble d'adhérence, ce qui détermine l'avancement du convoi, par un système identique à celui du touage sur chaîne noyée.

La question de sécurité est ainsi amplement satisfaite; en premier lieu, à cause de la force et de la solidité exceptionnelles du câble d'adhérence, ensuite, à raison de son immobilité qui le préserve de la détérioration plus ou moins rapide à laquelle il est condamné dans le système à traction directe.

L'autre câble, dit *câble moteur*, doit servir à transmettre la force des machines fixes à distance sur le convoi, pour lui imprimer le mouvement ascensionnel. Ce câble, au lieu d'être fixe et formé d'un seul bout comme le câble d'adhérence, est un câble sans fin reposant sur deux rangées de poulies placées de chaque côté du câble toueur. Un brin de ce câble remonte le plan incliné tandis que l'autre descend, et afin de réduire autant que possible les résistances passives dues à son mouvement, sa section et son poids par mètre courant peuvent être restreints dans des limites aussi étroites que l'on veut, au moyen de la disposition que nous allons décrire.

Au lieu d'employer un seul moteur comme dans le système ordinaire, M. Agudio fait usage de deux moteurs de même force, dont l'un est placé

en bas de la rampe et l'autre à son sommet. Le moteur supérieur, au moyen d'un appareil ordinaire de poulies motrices, tire en haut le brin ascendant, tandis que le moteur inférieur tire en bas le brin descendant du même câble sans fin.

A chaque extrémité du plan incliné, le câble est guidé et tendu par la poulie d'un tendeur placé derrière l'appareil des poulies motrices.

Sur le chariot qui porte les tambours de touage (chariot que M. Agudio appelle *locomoteur funiculaire*) sont installées deux couples de poulies, l'une à droite, l'autre à gauche des tambours, et placées dans le même plan vertical que chacun des brins du câble moteur. Les gorges de ces deux couples de poulies sont entourées par les deux brins du câble, qui, marchant en sens contraire, déterminent un mouvement de rotation en sens opposé dans chaque couple de poulies.

On conçoit que le câble moteur s'enroule sur chaque couple de poulies absolument comme le câble d'adhérence sur les tambours, et la chaîne sur les treuils du touage. Dans chaque couple de poulies il en est une qu'on peut appeler motrice, parce qu'en effet au moyen d'un embrayage Kœchlin et de deux engrenages ou roues à friction, elles communiquent le mouvement aux tambours et déterminent l'ascension du train.

Par cette disposition, on utilise pour la traction le brin descendant du câble, qui, dans l'ancien système, ne produisait pas de travail, ou, en d'autres termes, l'effort qui se portait sur un seul brin du câble sans fin est ici divisé en parties égales sur les deux brins, ce qui permet déjà de donner au câble une section moitié moindre. En outre, il n'est plus nécessaire que la vitesse du câble moteur soit égale à celle du convoi. La transmission du mouvement des poulies du locomoteur au tambour peut se faire dans des rapports de vitesse bien différents entre eux; ainsi, l'on peut donner aux poulies une vitesse de rotation trois ou quatre fois plus forte que celle des tambours. Il s'ensuit que la tension longitudinale, qui est déjà réduite à moitié par le concours des deux brins à la traction, est, par cette nouvelle disposition, réduite au tiers ou au quart, suivant le rapport adopté entre les diamètres des poulies et des engrenages, et elle deviendra, en définitive, le 1/6e ou le 1/8e de ce qu'elle serait dans un système à traction directe.

Le câble n'aura donc plus, par mètre courant, que le 1/6e ou le 1/8e du poids qu'on était forcé de lui donner anciennement pour remorquer le même convoi, et il est bien clair qu'on pourrait diminuer encore ce rapport si on le jugeait utile.

Cette disposition, excessivement remarquable, constitue l'essence de l'invention de M. Agudio.

Par la substitution de deux câbles distincts au câble unique, qui répond très-imparfaitement aux conditions contradictoires de sécurité du convoi et d'économie du travail, M. Agudio peut accroître à son gré la section

du câble d'adhérence, tandis qu'il diminue les résistances passives en même temps que la section du câble moteur.

Cette description très-générale suffit pour nous permettre d'étudier les conditions du système au point de vue du rendement mécanique; cette étude en fera ressortir les avantages sur le système actuel.

Appliquons en effet les dispositions que nous venons de décrire à un plan incliné de 10 pour 100 de pente d'une longueur de 6 kilom., destiné à remonter des convois de 80 tonnes.

Nous admettrons pour le câble moteur une vitesse de 32 à 36 kilom. à l'heure, vitesse adoptée sur les plans inclinés de Liverpool et de Glascow, et qui ne présente pas d'inconvénients. Nous fixerons à 1/4 le rapport de la vitesse du convoi à celle du câble. Le convoi remontera donc à la vitesse de 8 à 9 kilom. à l'heure. Le poids du locomoteur sera au maximum de 20 tonnes.

Le travail dynamique à développer se composera des éléments suivants :

Résistance due à la gravité du convoi et du locomoteur sur la rampe de 10 pour 100 :

$(80+20)\times 100$ . . . . . =	k. 10.000
Résistance due aux frottements des essieux et des roues :	
$(80+20)\times 5$ . . . . . =	500
Résistance totale à vaincre	k. 10.500

En supposant que le câble d'adhérence travaille à 5 kil. par millim. q., sa section sera de 2,100 millim. q.; ce qui donne un poids de 16k.8 par mètre courant.

La section du câble moteur, en admettant le coefficient de 10 kilog. par millim. q. de section, sera de $\frac{10.500}{10\times 8}=131{,}25$ millim. q.

Et son poids par mètre courant sera $131{,}25\times 0.08=1.05$ kilog. ou environ 1 kilog. par mètre courant.

Le plan incliné ayant 6 kilom. de longueur, le poids total du câble moteur sera de 12,500 kilog. au plus, et les résistances occasionnées par son mouvement seront, suivant l'évaluation habituellement appliquée aux plans inclinés à traction directe, de $1/16\times 12.500=780$ kilog., qui, multipliés par 4 à cause de la vitesse quadruple du câble comparativement à celle du convoi que nous prenons pour unité, donneront :

$$780\times 4=3{,}120 \text{ kilog.}$$

En y ajoutant les résistances du locomoteur, comme véhicule, qui est de

$$20\times 105=2{,}100 \text{ kilog.},$$

on a pour les résistances passives totales du système :

$$3{,}120 + 2{,}100 = 5{,}220 \text{ kilog.},$$

et pour les résistances utiles,

$$80 \times 105 = 8{,}400 \text{ kilog.}$$

Si on compare maintenant le travail de ces résistances passives, on trouve le rapport de

$$5{,}220 : 8{,}400 = 1 : 1{,}6,$$

c'est-à-dire que l'effet utile sera 62,5 pour 100 du travail total développé. Nous verrons plus loin que cette évaluation est pleinement confirmée par l'expérience.

Si on voulait établir un plan incliné à traction directe, dans les conditions que nous venons d'exposer, on aboutirait à une véritable impossibilité. En effet, le poids du câble moteur serait par mètre courant de 16 kil. Le travail perdu par la roideur de ce câble dans les courbes, par la nécessité de remonter son poids au départ, serait assez considérable pour faire proscrire le système, si l'usure, qui est beaucoup plus que proportionnelle au poids du câble en mouvement, et le danger permanent qui en résulte, permettaient d'envisager, même un seul instant, la possibilité d'une pareille solution.

En poursuivant l'examen des détails principaux du système, nous allons reconnaître que dans les dispositions accessoires qui sont la conséquence de l'idée principale, M. Agudio est parvenu avec non moins de bonheur à faire disparaître les autres inconvénients les plus graves qu'on reproche aux plans inclinés.

Mode de transmission de la force des machines fixes au câble moteur. — L'action directe de la machine sur le câble unique dans les plans inclinés ordinaires est par elle-même une source de dangers permanents; si en effet le convoi, une fois lancé, vient par une cause quelconque à éprouver un ralentissement brusque de vitesse, le câble est exposé à une rupture, ou au moins à un effort excessif qui peut amener en peu de temps sa ruine. M. Agudio évite complétement ce danger par la manière dont il communique le mouvement au câble moteur.

Le brin ascendant s'enroule à la partie supérieure du plan incliné sur une couple de poulies analogues aux tambours du touage; au sortir de ces poulies, il va tourner autour d'une poulie horizontale fixée à un chariot. Ce chariot est mobile sur un plan fortement incliné, et sert de tendeur; c'est-à-dire que son poids est réglé de manière à produire dans les deux brins du câble moteur une tension suffisante pour que ce câble ne puisse glisser sur les poulies du locomoteur. A la partie inférieure du plan incliné, la disposition est absolument identique pour le brin descendant

Au plan incliné de Dusino, les machines motrices sont des locomotives. Elles communiquent le mouvement aux poulies motrices du câble par l'intermédiaire de poulies de friction appliquées contre la roue motrice de la machine au moyen d'un balancier et d'un contre-poids.

On conçoit sans peine l'avantage de ce mode de transmission; aucun choc provenant soit de la machine, soit du locomoteur, ne peut se produire sur le câble; si la tension de ce dernier venait en effet à dépasser même instantanément l'effort prévu, il y aurait glissement soit du câble sur les poulies du locomoteur, soit des roues motrices de la machine sur les poulies de transmission.

C'est une condition de la plus haute importance pour la conservation du câble moteur.

Dans les nombreuses expériences qui ont eu lieu sur le plan incliné de Dusino, en présence des diverses commissions dont nous avons parlé, on a plusieurs fois mis en marche brusquement le convoi, en embrayant subitement les poulies motrices, tandis que le câble moteur était en mouvement, sans jamais provoquer d'autre inconvénient qu'un glissement momentané du câble sur les poulies au moment du départ.

Locomoteur funiculaire. — L'ensemble des tambours et des couples de poulies dont se compose essentiellement le locomoteur, est porté sur un long châssis soutenu à ses deux extrémités par deux chariots articulés à l'américaine. Ce châssis est formé de quatre fortes poutres armées, reliées ensemble par des entretoises en tôle. Dans le vide laissé par les deux poutres du milieu, sont placés les deux gros tambours toueurs, l'un vis-à-vis de l'autre, ayant chacun deux gorges saillantes qui reçoivent deux tours du câble d'adhérence. De chaque côté de ces tambours sont placés les deux couples de poulies. Dans chaque couple, l'une des poulies est sans action sur les tambours et ne sert que de poulie de renvoi, tandis que l'autre transmet son mouvement aux tambours.

Le brin ascendant du câble moteur passe deux fois sur les gorges du couple des poulies de droite, et le brin descendant agit de la même façon sur les poulies de gauche. La poulie motrice de droite est placée à demi-longueur du châssis, et son arbre, prolongé vers le milieu du châssis, porte une roue serrée entre les circonférences des tambours, par l'action même du câble d'adhérence qui tend à les rapprocher. Cette roue, en même temps qu'elle neutralise la pression horizontale sur les coussinets des tambours, sert à leur transmettre par friction le mouvement de rotation de la poulie motrice dont nous venons de parler.

D'autre part, la poulie motrice de gauche, par l'intermédiaire d'un pignon denté fixé sur son arbre, agit dans l'intérieur de l'un des tambours sur une couronne dentée qui fait corps avec lui.

Il faut remarquer que la roue portée par l'arbre de la poulie de droite

et le pignon de la poulie de gauche n'ont pas le même diamètre, quoique tous deux agissent sur le même diamètre des tambours.

Cette différence est la conséquence de la vitesse relative des poulies par rapport à celle du convoi.

En effet, la poulie de droite qui porte le brin ascendant du câble, et qui par conséquent tourne dans le sens de la marche du locomoteur, doit présenter à sa circonférence une vitesse tangentielle qui sera égale à la différence entre la vitesse du brin du câble et la vitesse d'avancement du locomoteur; tandis que la poulie de gauche, qui tourne en sens contraire de la marche du locomoteur, possédera une vitesse tangentielle qui sera égale à la somme des deux vitesses du brin du câble et du locomoteur. Si donc on suppose que la vitesse du câble est quatre fois celle du locomoteur, nous aurons sur la poulie de droite une vitesse tangentielle égale à $4-1=3$, et sur la poulie de gauche une vitesse tangentielle égale à $4+1=5$. Ainsi le rapport entre le diamètre de la roue de friction du locomoteur et le diamètre du pignon sera comme 3 : 5, ou, en d'autres termes, la roue sera 1/3 et le pignon le 1/5 du diamètre des poulies motrices, celles-ci étant du même diamètre. Si le diamètre des tambours et des poulies est de 3 mètres, la roue aura 1 mètre et le pignon $0^{m},60$, ce qui est parfaitement praticable.

Manœuvre du locomoteur. — Nous avons rappelé qu'un des plus graves inconvénients du système à traction directe consiste dans la liaison indissoluble du train avec le câble, liaison qui le fait dépendre ainsi absolument de la manœuvre de la machine fixe.

Dans le système Agudio, le convoi peut s'arrêter sur la rampe, et même reprendre sa marche à volonté. Pour arrêter le train, il suffit de rendre folles les poulies motrices du locomoteur et de serrer simultanément les puissants freins à mâchoires appliqués aux tambours. Pour remettre en mouvement le convoi, il n'y a qu'à desserrer les freins et à embrayer les poulies, ce qui se pratique avec toute facilité et sans qu'il y ait à craindre la rupture du câble moteur; les dispositions qui s'opposent à une rupture du câble sont en effet d'abord, ainsi que nous l'avons vu, la transmission par adhérence entre les moteurs et les poulies fixes aux extrémités du plan incliné, la possibilité d'un glissement du câble sur les gorges des poulies, la puissance vive de ces dernières qui se communique aux treuils par l'embrayage; enfin le système même des embrayages qui, agissant par un frottement gradué, ne peuvent causer de chocs.

Le système d'embrayage adopté par M. Agudio, et dont les résultats ont été pleinement satisfaisants, est celui de Kœchlin; il se compose de trois segments en fonte placés latéralement à la poulie, qui, par un jeu de leviers et de vis, s'éloignent du centre et s'appliquent fortement contre la jante antérieure de la poulie.

Le câble moteur étant mis en mouvement avant le départ du train,

il est à remarquer que le démarrage est facilité par la puissance vive acquise par les poulies qui se transmet aux treuils par l'action de l'embrayage.

Adhérence du câble moteur sur les poulies et tendeurs. — Une des difficultés les plus graves présentées par le locomoteur de M. Agudio, difficulté qui pourrait même se traduire en une objection très-sérieuse, si l'expérience n'avait pas prononcé encore, c'est le mode de transmission de l'effort du câble moteur aux poulies. Le système suppose en effet que la transmission s'effectue sans aucun glissement. Si on réfléchit au rôle des tendeurs, on reconnaît sans peine que, dans une marche normale, le développement du brin descendant sur les poulies de gauche étant égal à celui du brin ascendant sur les poulies de droite, ces tendeurs doivent rester immobiles. Mais s'il se produit un glissement sur une des couples de poulies, l'égalité cesse et les tendeurs se mettent en marche, l'un s'éloignant du plan incliné, l'autre s'en rapprochant. Si cet effet se continuait, le tendeur arriverait au bout de sa course, qui est naturellement limitée, la tension du câble moteur cesserait et le fonctionnement de l'appareil serait entravé. Les premières expériences entreprises sur le plan de Dusino ont montré toute l'importance de cette question, et M. Agudio a dû modifier la forme première des gorges de ses poulies, afin d'augmenter l'adhérence du câble. Les gorges de ces poulies ont aujourd'hui une forme trapézoïdale allongée. On chasse à force à la base du trapèze deux câbles en chanvre qui forment ainsi le fond de la poulie; cette disposition a complétement réussi, et les expériences ont démontré qu'il n'y avait pas de glissement, ce qui était prouvé d'une manière irrécusable par l'immobilité des tendeurs. Des compteurs placés sur les deux machines ont en outre constaté des nombres de coups de piston identiques.

Enfin, il faut remarquer qu'une des conditions également très-importante de bon fonctionnement du système réside dans une parfaite égalité du diamètre des deux poulies motrices. Une inégalité dans ces diamètres produirait inévitablement un glissement du câble. Au reste, dans de certaines limites, cet inconvénient n'aurait pas de conséquences plus graves qu'une usure inégale dans les roues couplées d'une locomotive; ce sont deux difficultés du même ordre.

L'établissement de la voie dans le système de M. Agudio ne présente pas d'autre particularité remarquable que la disposition des poulies de support des câbles.

Le câble d'adhérence étant fixe, est simplement supporté par de petits rouleaux horizontaux dans les alignements, auxquels s'ajoutent des rouleaux verticaux dans les courbes. Le mouvement de ces rouleaux étant presque nul, et pour ainsi dire exceptionnel, leur diamètre peut être restreint à de faibles dimensions.

Le câble moteur repose sur des poulies très-légères, verticales dans les alignements et inclinées suivant la résultante des efforts dans les courbes. M. Agudio s'est appliqué à diminuer autant que possible la masse de ces poulies et à réduire les frottements. A cet effet, il a appliqué aux poulies le système d'Atwood, et le résultat obtenu a été excellent. Les poulies sont espacées de 10 mètres dans les alignements droits; elles sont plus rapprochées dans les courbes. Le faible prix de ces appareils, qui pèsent chacun tout compris de 25 à 30 kilog., rend la dépense insignifiante.

On peut craindre que la grande vitesse du câble sur les poulies motrices n'en détermine promptement l'usure. Cette objection n'est pas fondée. En effet, nous avons dit qu'en donnant au câble une vitesse égale à 4 fois celle du train, on peut remorquer un poids 8 fois supérieur à celui qu'un câble sans fin de même dimension pourrait enlever par traction directe. C'est-à-dire que le locomoteur remontera en un seul convoi un poids qui en aurait exigé huit dans le système à traction directe. Le câble parcourant 4 fois le plan incliné en un voyage, le chemin définitif effectué sera moitié moindre que dans le système à traction directe par câble sans fin.

Il nous reste enfin à dire quelques mots du mode d'exploitation de ces plans inclinés et des manœuvres nécessaires pour passer d'un plan incliné à un autre lorsqu'ils sont consécutifs.

Nous avons dit que le locomoteur est placé à la queue du train; arrivé au sommet du plan incliné, le train est poussé par le locomoteur et la vitesse acquise sur une voie d'évitement. Le locomoteur l'abandonne et attend le train qu'il doit descendre. S'il y a plusieurs plans inclinés consécutifs, M. Agudio propose d'établir le long de la voie d'évitement un petit câble mis en mouvement par les machines fixes et qui servira à remorquer le train jusqu'à la partie inférieure du plan incliné suivant.

A la descente, le locomoteur est placé en tête du train, et la descente se fait par l'action de la pesanteur seule, les poulies motrices étant débrayées. Pour retenir le train sur la pente, soit qu'il s'agisse de modérer la vitesse, soit qu'il s'agisse d'un arrêt nécessité par un accident, le mécanicien dispose des ressources suivantes :

1° Deux freins à mâchoires agissant sur les tambours du câble toueur, et permettant d'arrêter complétement le train. Ces freins à mâchoires agissent automatiquement en cas de rupture du câble moteur, de manière que, si cet accident se produisait à la remonte, le train s'arrêterait sûrement de lui-même.

2° L'embrayage de poulies motrices peut faire également fonction de freins en agissant sur le câble moteur immobile pendant la descente.

3° Enfin, en cas de rupture du câble toueur, le locomoteur sera muni de freins de sauvetage analogues à ceux du chemin de fer de la Croix-Rousse.

Nous avons dû nous restreindre à la description des dispositions essentielles qui constituent la nouveauté et l'intérêt principal du système

de M. Agudio; si nous n'avions pas craint de fatiguer l'attention de la Société par de trop longs développements, nous aurions pu pénétrer dans les détails de construction qui témoignent de l'étude la plus consciencieuse, et inspirent une grande confiance sur le succès pratique du système. Mais le but que nous nous sommes proposé est atteint si nous sommes parvenus à faire comprendre les idées nouvelles sur lesquelles l'invention de M. Agudio est fondée, et à légitimer les conclusions que nous devons tirer de cette étude.

Avant de formuler ces conclusions, conformes de tout point à celles des trois commissions qui ont procédé aux expériences faites sur le plan incliné de Dusino du 2 août 1863 jusqu'au 29 décembre de la même année, il nous paraît utile de résumer les faits observés et vérifiés par ces commissions.

1° La transmission de la force à distance par les deux machines fixes, agissant simultanément et séparément sur chacun des brins du câble moteur sans fin, se fait d'une manière régulière, comme si elle était produite par une seule et même machine; et l'isochronisme des impulsions des deux machines est démontré par le nombre identique des coups de piston indiqués par les compteurs appliqués à ces machines.

2° Le mode de transmission de la force des machines par adhérence, dont l'intensité est fixée par l'action de contre-poids, s'oppose à ce que le câble moteur puisse supporter un effort dépassant une limite déterminée *à priori*, même lorsqu'on met le convoi en marche d'une manière très-prompte.

3° Le déplacement des tendeurs pendant la marche du train est presque insensible, et par conséquent il y a égalité de tension et de vitesse dans les deux brins du câble, et il ne se produit pas de glissement sur les gorges des poulies motrices fixes, ni sur celle du locomoteur.

4° On est parfaitement maître de la marche du convoi et on peut s'arrêter sur la pente et reprendre le mouvement sans que le câble moteur manifeste une tendance à sortir des gorges des poulies de soutien de la voie, même dans les courbes, et sans que le câble qui continue à marcher pendant l'arrêt ait pu souffrir d'un accroissement de traction nuisible. Ce résultat est dû à trois causes, savoir : 1° au glissement des surfaces frottantes et graissées des embrayages; 2° au glissement du même câble sur les gorges des poulies du locomoteur, et enfin à l'action de la puissance vive des quatre poulies en mouvement qui font l'effet de volant au moment de l'embrayage.

5° Le câble toueur, qui fait deux tours sur les deux tambours, n'a jamais glissé sur les gorges de ces tambours, la tension de ce câble étant maintenue et produite par le convoi à la descente dont la vitesse est modérée par l'action des freins à mâchoires appliqués sur les gorges des tambours.

6° On peut marcher avec un train moins lourd en faisant fonctionner l'une ou l'autre des deux machines seulement.

7° On pourrait toujours reconnaître si une augmentation imprévue de résistance se produisait dans la marche du convoi, la corde en chanvre goudronné dont sont garnies les gorges des poulies du locomoteur donnant lieu dans ce cas à une fumée blanche due à la combustion du goudron par l'effet du glissement du câble sur ces gorges. Le cas d'une augmentation de résistance qui aurait pu détériorer rapidement le câble fut signalé dans une expérience dans laquelle on montait le convoi ayant deux freins serrés.

8° L'effet utile du système pris sur le piston a atteint 75 p. 100 avec des convois de 142 tonnes, et en moyenne 65 p. 100.

9° Les expériences comparatives faites à Dusino, tant avec le système de M. Agudio qu'avec les locomotives, attelées directement au convoi au lieu d'agir comme des machines fixes sur le même plan incliné, présentent les résultats suivants :

A. *Expériences faites avec le locomoteur devant la Commission de l'Institut de Milan.*

Pression moyenne de la vapeur dans la chaudière, liv. ang. . . .	85
Poids remorqué (locomoteur non compris), tonnes	120
Vitesse par heure, kilom.	16

B. *Expériences faites devant la Commission du Gouvernement, dans lesquelles l'appareil des tambours du locomoteur était avarié, et il y avait frottement latéral contre les longerons et des pièces entre elles.*

Pression moyenne de la vapeur, liv. ang.	85
Poids du convoi, tonnes.	126
Vitesse d'ascension par heure, kilom.	8

C. *Expériences devant la Commission anglaise, après la réparation du locomoteur.*

Pression, liv. ang.	85
Poids du convoi, tonnes	142
Vitesse par heure, kilom.	13

D. *Expériences faites par la Commission du Gouvernement avec les mêmes locomotives attelées directement au convoi sur le même plan incliné, après*

avoir réparé ces machines pour pouvoir en augmenter la pression de la vapeur et profiter de toute l'adhérence.

Pression constante dans les chaudières, liv. ang.	95
Poids du convoi, tonnes	134
Vitesse d'ascension, kilom.	7 1/4

Il résulte de ces dernières expériences que le travail utile a été notablement inférieur à celui des mêmes locomotives travaillant comme machines fixes.

10° Enfin, toutes les Commissions ont constaté la disposition avantageuse du système des poulies de soutien du câble, ayant pour effet de diminuer les résistances passives et l'usure du câble, et de faciliter l'entretien et le graissage de ces poulies.

L'ensemble de ces faits nous paraît établir les résultats suivants :

Le système de M. Agudio permet d'accroître simultanément la longueur et la pente des plans inclinés.

Il augmente la sécurité du convoi remorqué, par la meilleure conservation du câble d'adhérence résultant de son immobilité, et par la possibilité de diriger les trains indépendamment du moteur.

Il permet d'augmenter le poids des trains remorqués.

Pour les fortes rampes, au-dessus des limites fixées aux machines locomotives, il sera supérieur à tous les autres systèmes d'exploitation connus jusqu'à ce jour, non-seulement aux locomotives, mais encore aux plans inclinés à traction directe, sur lesquels il aura l'avantage d'un plus grand effet utile et d'un moindre entretien; il permet de plus, dans certains cas, d'utiliser la force motrice de l'eau au moins pour la machine placée à la partie inférieure du plan incliné.

Enfin le tracé peut admettre des courbes qui sont interdites aux plans inclinés à traction directe.

L'emploi des locomotives sur les rampes est limité à une pente maxima sur laquelle les ingénieurs ne sont pas parfaitement d'accord. Mais nous croyons faire une part très-large à toutes les opinions en avançant qu'une exploitation par locomotive ne peut pas s'établir avec des avantages industriels sur une rampe dépassant 60^{mm} par mètre; et que cette rampe ne pourrait être franchie que très-exceptionnellement, sur des faibles longueurs et avec des moteurs spéciaux qui n'ont pas encore été réalisés. C'est là la limite de traction par adhérence sur le rail.

En appliquant au remorquage d'un convoi le touage, ou tout autre procédé fondé sur un accroissement artificiel d'adhérence, cette limite de pente peut être reculée, mais non pas tant qu'on pourrait le croire au premier abord. Avec une rampe de 11 à 12 centimètres par mètre, le moteur aurait à peu près la force de se remonter lui-même; c'est dire que dans le voisinage de cette pente, le travail disponible serait excessivement

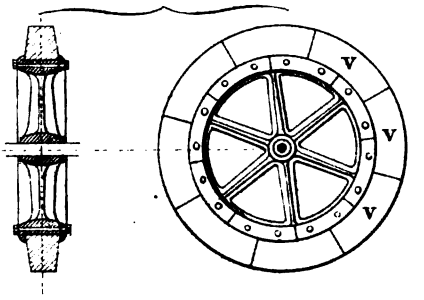
faible, et le rendement du système très-mauvais. C'est le motif pour lequel le touage appliqué directement au remorquage des trains ne peut fournir une solution avantageuse.

Mais si on considère le système de M. Agudio dans son ensemble, on reconnaît qu'il procède des deux idées, du touage et de la traction par machine fixe. C'est en effet un système de touage dans lequel les treuils seuls accompagnent le convoi, l'effort moteur leur étant communiqué à distance au moyen d'une machine fixe. C'est une idée ingénieuse et féconde qui doit faire pénétrer les plans inclinés dans la pratique des chemins de fer, et leur attribuer un rôle nouveau et utile dans les passages de montagne.

Paris. — Typ. de P.-A. Bourdier et Cie, rue Mazarine, 30.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

les d'emoulages.

Fig. 2.



Meule montée entre plateaux.

Fig. 4.

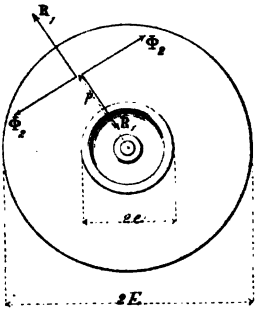


Fig. 5.

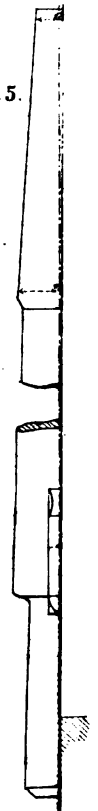
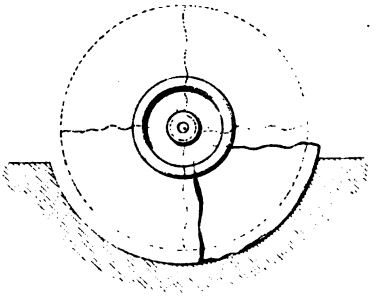


Fig. 6.



Etabl! et imp^rie de Noblet et Baudry

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1863)

N° 24

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Écoulement des gaz en longues conduites*, par M. Arson. (Voir le résumé de la séance du 2 octobre, page 378.)

2° *Fonte malléable*, par M. Brüll. (Voir le résumé de la séance du 16 octobre, page 382.)

3° *Appareil Galibert, servant à pénétrer sans danger dans tout lieu rempli de fumée ou de gaz délétères*, par M. Tronquoy. (Voir le résumé de la séance du 6 novembre, page 387.)

4° *Substitution de la nouvelle statue de Napoléon sur la colonne Vendôme*, par M. Gaudry. (Voir le résumé de la séance du 6 novembre, page 388.)

5° *Durcissement des rails par la compression finale à basse température*, par M. Sieber. (Voir le résumé de la séance du 20 novembre, page 390.)

6° *Tirage artificiel dans les cheminées des locomotives*, par MM. Geoffroy et Nozo. (Voir le résumé de la séance du 4 décembre, page 398.)

7° *Prix proposés par la Société des Ingénieurs autrichiens.* (Voir le résumé de la séance du 18 décembre, page 399.)

8° *Situation financière de la Société.* (Voir le résumé de la séance du 18 décembre, page 401.)

9° *Élections des membres du bureau et du comité.* (Voir le résumé de la séance du 18 décembre, page 402.)

Pendant ce trimestre la Société a reçu :

1° De M. le général Morin, membre de la Société, un exemplaire de ses *Études sur la ventilation.*

2° Le numéro de janvier, février, mars et avril 1863 des *Annales des ponts et chaussées.*

3° Première, deuxième, troisième, quatrième et cinquième livraisons de 1863 des *Annales des mines.*

4° De M. Paul Barbe, membre de la Société, une notice sur un projet d'*amélioration de l'abri des troupes en campagne.*

5° Le numéro d'août, septembre, octobre et novembre du Bulletin de la *Société d'encouragement.*

6° De M. Sommeiller, un exemplaire de son travail sur la *Traversée des Alpes. Percement du mont Cenis.*

7° De M. Eug. Lacroix, éditeur :

1° La collection des *Annales du Conservatoire.*

2° Les 2e, 3e et 4e séries du *Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.*

3° *Guide de chimie agricole*, par Basset.

4° *Gréement*, par Bréart.

5° *Machines-outils.* Chrétien.

6° *Culture maraîchère.* Courtois-Gérard.

7° *Question de tracé et d'exploitation.* Flachat.

8° *Guide pratique de la Meunerie et de la Boulangerie.* Marmay.

9° *Le nouveau Cosmos.* Dubois.

10° *Conseiller du débitant.* Du Liége.

11° *Télégraphie électrique.* Miége.

12° *Guide du bijoutier.* Moreau.

13° *Guide du sténographe.* Tondeur.

14° *La science populaire.* Rambosson.

8° De M. Love, membre de la Société, un exemplaire d'une planche représentant un *projet de voiture à voyageurs de* 1re, 2e et 3e classe.

9° Un exemplaire du Bulletin des séances de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

10° Les numéros d'octobre, novembre et décembre de la Revue *les Mondes.*

11° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du *Génie industriel.*

12° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du Bulletin de la *Presse scientifique des Deux-Mondes.*

13° Un exemplaire du résumé des *instructions données dans le service des eaux et des égouts, avec cartes.*

14° Un exemplaire de la *Revue des architectes et ingénieurs du Hanovre.*

15° Un exemplaire des numéros 6, 7, 8 et 9 de la *Revue des ingénieurs autrichiens.*

16° Les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre des *Nouvelles Annales de la construction;* du *Portefeuille économique des Machines,* et de l'*Album pratique de l'art industriel.*

17° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du journal *The Engineer.*

18° De M. Noblet, éditeur, les numéros de juillet, août, septembre et octobre de la *Revue universelle des mines de la métallurgie et des travaux publics.*

19° Les numéros de septembre, octobre, novembre et décembre des *Annales des conducteurs des ponts et chaussées.*

20° Le numéro de janvier, février et mars 1863 du Bulletin de la *Société de l'Industrie minérale.*

21° Les numéros d'octobre, novembre et décembre des *Annales du Génie civil.*

22° De M. Thomas Agudio, des exemplaires d'un Mémoire sur un *nouveau système de traction sur plans inclinés pour chemins de fer.*

23° Le numéro 50 du Bulletin de la *Société vaudoise des sciences naturelles.*

24° De M. Lopez Bustamente, membre de la Société, *le plan et le profil de la deuxième section du chemin de fer de Alar del Rey à Santander.*

25° Les numéros d'octobre, novembre et décembre du journal *la Célébrité.*

26° Les numéros 7, 8, 9, 10, 11 et 12 de la *Revue générale d'architecture et des travaux publics.*

27° Un exemplaire de l'*Annuaire* 1863 *de la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers.*

28° De M. Marès, membre de la Société, un exemplaire de son rapport sur les *vignes du midi de la France.*

29° De Son Excellence le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, un exemplaire de l'*Enquête sur l'exploitation et la construction des chemins de fer.*

30° De M. Sieber, membre de la Société, une note *sur le durcissement des rails par la compression finale à basse température.*

31° De M. Jules Gaudry, membre de la Société, un exemplaire d'un *projet de nouvelles locomotives à grande vitesse.*

32° De M. Bernard, membre de la Société, des exemplaires de sa brochure sur la *stabilité des ouvrages d'art destinés à porter de grands remblais.*

33° De M. Émile With, un exemplaire du *Rapport sur le système de locomotive articulée à douze roues couplées, proposé par M. Rarchaert,* et un exemplaire d'une notice sur la *fonte Gruson, avec album.*

34° De M. Sébillot, membre de la Société, un exemplaire de son ouvrage sur les *condenseurs par surfaces et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur.*

35° De MM. Geoffroy et Nozo, membres de la Société, un Mémoire sur le *tirage artificiel des cheminées des locomotives.*

36° De M. Desmousseaux de Givré, membre de la Société, une note sur un *Théorème de géométrie.*

37° De Mme la comtesse de Vernède de Corneillon, née de Girard, des exemplaires de *pièces relatives à Philippe de Girard.*

38° Le numéro de mai 1863 du Bulletin de l'*Institution of Mechanical Engineers.*

39° De M. Vuigner, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire relatif aux *travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement du chemin de fer conduisant au camp de Châlons.*

40° De M. Rubin, membre de la Société, un Mémoire sur la *fabrication et la réception des rails.*

Les Membres nouvellement admis sont les suivants :

Au mois d'octobre :

MM. Albaret (Eugène), présenté par MM. Love, Lacombe et Jolly.
Barbe, présenté par MM. le général Morin, Brüll et Godfernaux.
Daguerre-Dospital, présenté par MM. Deligny, de Fonborne et Flachat.
Levi Alvarès, présenté par MM. Flachat, Jacquin et Perdonnet.
De Veber, présenté par MM. Flachat, Jacquin et Perdonnet.
Lecordier, présenté par MM. Jacquin, Pepin Lehalleur et Perdonnet.

Au mois de novembre :

M. Renard (Lucien), présenté par MM. le général Morin, Lecœuvre et Tresca.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IVe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1863

Séance du 2 Octobre 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce que la Société a reçu de M. Sommeiller un exemplaire de sa notice avec atlas sur la *traversée des Alpes au mont Cenis.* Il propose à la Société d'adresser des remercîments à M. Sommeiller. Cette proposition est adoptée.

M. ARSON remercie M. le Président d'avoir bien voulu indiquer dans la dernière séance le but du travail dont il a présenté à la Société un compte rendu, et de lui accorder aujourd'hui la parole pour consulter la Société sur les méthodes suivies dans les expériences auquelles il s'est livré. Il va continuer ces observations, et avant de commencer il désire provoquer les avis qui pourraient le mettre à même de mieux faire.

M. ARSON rappelle que, grâce à la bienveillance de M. de Gayffier, directeur de la Compagnie parisienne, il a pu disposer des moyens puissants que possède la Compagnie. Il a eu à sa disposition un gazomètre de 15,000 mètres cubes et des tuyaux de tous diamètres.

Toutefois, les expériences qui font l'objet de sa communication n'ont porté utilement que sur des conduites de 0,500 et 0,325 de diamètre, et il n'a été possible de généraliser les résultats obtenus qu'en les comparant aux résultats d'expériences semblables faites par Clegg, et relatées dans son Traité d'éclairage au gaz, traduit en français par l'un des membres de la Société, M. Servier.

Dans les expériences faites à Saint-Mandé, on mesurait le volume de gaz écoulé d'après la descente du gazomètre qu'on observait à l'aide de deux échelles placées aux extrémités d'un même diamètre.

Les conduites à expérimenter étaient placées horizontalement sur le sol, et raccor-

dées avec le tuyau de sortie de gaz du gazomètre par un circuit d'une étendue et d'une disposition commandées par l'emplacement.

La partie soumise aux observations se composait de deux tronçons de tuyau de 100 mètres de longueur posés chacun l'un à côté de l'autre, et se raccordant par des coudes.

Deux piézomètres différentiels suffisaient à indiquer toutes les pressions.

L'un d'eux reliait l'entrée et la sortie, et donnait la somme des pertes de charge dues à la résistance des conduites et aux coudes.

L'autre avait ses branchements pratiqués à 100 mètres des précédents; il donnait directement la perte de charge due aux 2 coudes et par différence, avec les indications du premier piézomètre, il donnait la perte due aux conduites seules. Les mêmes instruments, mis en communication par l'une de leurs extrémités avec l'atmosphère, donnaient alternativement et à volonté la pression absolue en l'un quelconque des quatre points sur lesquels ils étaient branchés.

Les branchements pour l'application des appareils étaient d'ailleurs disposés de manière à ne pas produire de perturbation dans le régime.

L'instrument était formé de deux tubes de verre d'au moins 30 $^{m}/_{m}$ de diamètre intérieur, effilés à leurs extrémités, et raccordés par en bas au moyen d'un coude en verre de petit diamètre; les extrémités supérieures recevaient les tuyaux en caoutchouc, qui les mettaient en communication avec les ajutages en plomb fixés sur les conduites. Enfin ces tubes étaient remplis d'eau distillée.

Daubuisson a donné pour l'écoulement des gaz la formule suivante :

$$Q = K\sqrt{\frac{HD^5}{L\delta}},$$

dans laquelle : Q = le volume écoulé par 1″ en mètres cubes; H = la hauteur d'eau représentant la perte de charge en mètres; D = le diamètre de la conduite en mètres; L = la longueur en mètres, δ = la densité de gaz qui s'écoule, celle de l'air étant 1.00, k = un coefficient à déterminer par expérience. Malheureusement cette formule si simple n'est pas vérifiée par l'expérience, et elle doit être modifiée en remplaçant k par $K'(1 + mD)$, formule dans laquelle m est un coefficient qui varie avec la nature de la paroi de la conduite, et K′ un coefficient constant. Pour une conduite neuve en fonte :

$$m = 1.53.$$

Et pour les conduites de gaz en service depuis un temps assez long pour que la surface intérieure se soit couverte de cristaux de naphtaline :

$$m = 1.03,$$

quelle que soit la nature de la matière composant la conduite.

C'est à l'aide de ces deux coefficients que M. Arson a composé des tables, pour l'air et pour le gaz de la houille, relatives aux diamètres 0,500 et 0,325, dans lesquelles on trouve tout calculés les volumes, les vitesses et les pertes de charge.

Cette formule générale présente une coïncidence remarquable avec celle à laquelle M. Bazin, le continuateur de M. Darcy, a été conduit pour l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts. Il a trouvé que le coefficient b relatif au frottement dans l'expression $RI = bv^2$ devait être remplacé par l'expression $a + b'R$, dans laquelle a et b' varient avec l'état des surfaces. Si on se rappelle que R, le rayon moyen, est le rapport de la section au périmètre mouillé, on est frappé de la similitude qui existe entre cette expression et celle trouvée par M. Arson : $K'(1 + mD)$.

Passant aux expériences faites à l'aide du tube de Pitot à deux branches opposées, M. Arson rappelle que cet appareil peut être employé pour apprécier la vitesse des filets en mouvement, et par conséquent les différences entre les vitesses des filets placés à des distances différentes de la paroi.

Il exprime le regret de n'avoir pas eu à sa disposition un appareil assez sensible pour mesurer, avec toute la précision désirable, les très-petites hauteurs d'eau représentant les hauteurs dues aux vitesses à observer.

Malgré cela il croit pouvoir tirer de ses observations cette conclusion, que la différence entre les pressions dans les branches opposées du tube de Pitot a pour mesure une hauteur qui est justement égale à la hauteur due à la vitesse.

Mais les résultats des observations n'offrent pas assez de certitude et de concordance pour qu'il soit possible d'en tirer la loi qui lie la vitesse moyenne à la vitesse au centre.

M. Arson examine ensuite les objections qui ont été faites au mode expérimental qu'il a suivi.

Plusieurs ingénieurs, membres de la Société, ont élevé des doutes sur l'exactitude des indications fournies par le piézomètre dans le cas où le fluide est en mouvement, alors même que l'orifice pratiqué dans la paroi est d'un très-petit diamètre et qu'aucune saillie intérieure ne peut changer le parallélisme des filets passant devant l'orifice. La vitesse de ces filets n'exerce-t-elle pas une influence sur la pression, et n'est-on pas exposé à des causes d'erreur d'autant plus grandes que cette vitesse serait plus considérable?

Ces craintes semblent confirmées par la réduction qu'on observe dans la pression, lorsqu'on fait pénétrer le tube de branchement dans l'intérieur, c'est-à-dire dans des courbes où la vitesse est de plus en plus grande.

Ne vaudrait-il pas mieux, pour chasser toute incertitude, opérer comme l'a fait M. Pecqueur en faisant partir la conduite d'un vaste réservoir où le gaz serait en repos et dont la pression serait alors sûrement déterminée, et en la faisant déboucher librement dans l'atmosphère à son autre extrémité?

M. Arson croit que ces inquiétudes ne sont pas fondées. Lorsque des filets fluides coulent parallèlement, ils exercent et transmettent latéralement la pression même à laquelle ils sont soumis et quelles que soient d'ailleurs les vitesses relatives dont ils sont animés.

Si un tube introduit dans un courant ne transmet pas exactement la pression propre au filet dans lequel il pénètre, comme Dubuat l'a remarqué, c'est qu'il intercepte l'écoulement de ce filet et l'oblige à se dévier.

On peut éviter la perturbation toute locale qui se produit alors, en garnissant l'orifice du tube d'un disque mince fixé perpendiculairement à son axe. Les filets qui s'engagent au delà du disque, ne rencontrant pas d'obstacle, poursuivent leur marche sans déviation, et l'orifice du tube, se trouvant dans les mêmes conditions qu'un orifice pratiqué dans la paroi, transmet intégralement la pression du filet qui coule parallèlement à son plan.

M. Arson dépose sur le bureau un tube ainsi disposé avec lequel il a confirmé ces déductions théoriques. Introduit dans un tuyau de 0,500 de diamètre, et près de l'orifice par lequel l'air s'écoulait avec une vitesse moyenne de 13 mètres par 1″, la pression transmise au piézomètre est restée constamment égale à la pression atmosphérique, que le disque fût près de la paroi ou près du centre.

La sûreté des indications du piézomètre étant établie, M. Arson pense que la mé-

thode qui consiste à observer la perte de charge entre deux points d'une conduite indéfinie est la plus sûre. Elle a le mérite de ne pas obliger à tenir compte des phénomènes relatifs au passage du gaz du réservoir dans la conduite.

M. Callon ne voit pas d'objection à faire aux méthodes employées par M. Arson, au point de vue de l'usage du piézomètre pour observer les pressions, mais il présente des observations sur l'application pratique des résultats trouvés. Il se demande si les défauts dans la construction des tuyaux ou les imperfections de la pose ne peuvent pas modifier, dans l'application, les résultats recueillis dans des expériences où toutes choses étaient sans doute dans leur état normal. — Les expériences de M. Darcy, de M. Mary et d'autres ont bien indiqué déjà l'influence de l'état des surfaces frottantes; mais toutes ces observations font-elles la part des obstacles accidentels qui nuisent à l'écoulement, et des fuites qui augmentent la dépense?

M. Arson reconnaît que ces deux effets se produisent toujours dans les distributions de gaz; mais il croit que la formule générale qu'il propose en tient compte dans la mesure possible. Il rappelle qu'elle n'est pas seulement basée sur des résultats d'expériences spéciales, mais qu'elle est tirée d'observations faites sur des conduites en service ayant plusieurs milliers de mètres de longueur, et soumises depuis longtemps à toutes les perturbations qu'éprouve le sol si remué des grandes villes comme Paris et Londres.

M. le général Morin désirerait qu'on déterminât les vitesses d'écoulement avec des anémomètres placés dans les conduites.

M. Tresca pense que la Société doit une réponse à la demande de M. Arson, et il lui semble que, pour élucider complétement la question, il conviendrait d'employer tout à la fois et la méthode décrite par M. Arson et le réservoir intermédiaire destiné à faire connaître la pression statique au départ.

On pourrait, d'ailleurs, adopter à la sortie de ce réservoir les dispositions les plus convenables pour réduire l'influence de la contraction.

M. Arson a fait disposer les appareils pour faire simultanément les deux expériences, et il pourra opérer ainsi et comparer les résultats obtenus par les deux méthodes.

Sur la demande de M. Petiet, M. Arson donne quelques explications complémentaires sur le mode d'expérimentation. Il fait remarquer l'impossibilité où l'on est de faire usage de compteur pour mesurer les volumes qui s'écoulent par les conduites de grands diamètres; mais il craint, au contraire, de ne pouvoir compter sur les indications du gazomètre pour mesurer les petits volumes qui s'écouleront par les conduites de très-petits diamètres. Dans ce cas, il faudra avoir recours au compteur.

M. Callon a eu l'occasion de remarquer que l'influence des coudes était plus grande que ne l'indiquent les formules connues; il désirerait qu'on profitât des installations faites pour déterminer l'effet des obstacles de ce genre dans l'écoulement des gaz.

M. Arson avait disposé les expériences dans ce but, mais il n'a pas encore soumis à l'analyse les résultats observés.

Sur la demande des membres présents, la Société vote l'impression du compte rendu offert par M. Arson à la Société.

MM. Albaret, Barbe, Daguerre Dospital, Lévi Alvarès, de Véber et Le Cordier ont été nommés membres de la Société.

Séance du 16 Octobre 1863.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société que M. Charles Guillaume, ingénieur au chemin de fer du Midi, vient d'être nommé chevalier de la Légion d'honneur.

Il annonce ensuite le décès de M. Delpech, ingénieur principal du matériel du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

M. BRÜLL donne lecture d'une étude sur la fonte malléable. Ce travail est divisé en quatre parties traitant de l'historique, de la fabrication, des propriétés et de l'emploi de la fonte malléable.

I. *Historique.* — Donner à la fonte coulée en moules une résistance analogue à celle du fer forgé et une douceur qui permette l'action des outils, tel est le problème. Réaumur, dans une série de Mémoires datés de 1722, expose que, d'après la tradition des ouvriers, les ouvrages ciselés que les connaisseurs admiraient n'avaient pas été faits autrement. Mais cet utile secret était perdu, et Réaumur entreprit une longue suite d'essais pour obtenir un résultat dont la possibilité seule lui était démontrée.

Il fit chauffer les objets en fonte blanche dans des vases fermés remplis de toutes sortes de matières, et s'arrêta, après bien des recherches, à un mélange de craie ou de chaux d'os avec du charbon, mélange qui lui donnait les meilleurs résultats.

L'invention de Réaumur a été oubliée plus tard, et on représente aujourd'hui en France l'adoucissement de la fonte comme un procédé qui aurait été importé d'Angleterre il y a une trentaine d'années. On trouve dans les patentes anglaises une spécification déposée en 1804 par un maître de forges de Sheffield, nommé Samuel Lucas, dans laquelle se trouve exposé tout au long un procédé pour épurer la fonte coulée et la rendre douce et malléable.

II. *Fabrication.* — La fonte la plus employée en France est la fonte au bois d'Ulverstone, en Écosse. Elle provient d'hématite rouge, et paraît être une fonte pure à propension aciéreuse. On la fond dans des creusets d'une contenance d'environ 30 kil., chauffés au coke dans des fours analogues à ceux qui servent à la fusion de l'acier. Elle est peu fusible, et il faut forcer beaucoup la température pour obtenir des moulages d'une grande finesse.

On démoule, on détache et on ébarbe les pièces coulées, qui sont, à cet état, d'une fragilité extraordinaire, à cassure blanche rayonnante, et absolument inattaquables à la lime. La décarburation s'obtient en mettant les objets dans des creusets en fonte avec des lits alternés de mine de fer, et en faisant chauffer ces creusets empilés sur plusieurs rangées et lutés avec de la terre à four dans des fourneaux ayant la forme de chambres rectangulaires fermées. La température est élevée peu à peu et atteint le rouge vif au bout de vingt-quatre heures; on continue à chauffer pendant trois, quatre ou cinq jours, suivant la grosseur des pièces et le degré de malléabilité qu'on veut obtenir; on laisse ensuite tomber le feu, et on défourne dès que le four est re-

froidi. Les pièces épaisses, et celles qui doivent être forées suivant leur axe, sont soumises à un second recuit, qui s'opère comme le premier.

III. *Propriétés.* — Le métal ainsi obtenu est très-analogue, par l'ensemble de ses propriétés, au fer de bonne qualité. Il a à peu près la densité de la fonte; la couleur extérieure des pièces qui sortent du recuit est moins noire que celle du fer et se distingue aussi de celle de la fonte, qui varie d'ailleurs beaucoup.

La cassure des petites pièces est généralement à grains fins, blancs et brillants, peu arrachée; quelquefois elle est grise, fine, à tendance de nerf, et de l'aspect soyeux propre aux aciers doux. Pour peu, d'ailleurs, que la pièce ait plus de huit à dix millimètres d'épaisseur, la cassure présente une zone extérieure de fer, tandis que l'intérieur dénote une fonte grise très-douce.

A la lime, la fonte malléable prend à peu près l'apparence du fer; elle se polit mieux que lui, aussi bien que l'acier. Elle n'est pas, en général, très-dure, les outils l'entament aisément, et elle s'use assez vite par le frottement. Elle est beaucoup plus sonore que le fer, et cette propriété permet quelquefois de la distinguer de ce métal.

L'aspect d'une section travaillée à la lime douce, et la nature variable des copeaux qui se détachent au tour dans les diverses parties de la profondeur, permettent d'étudier de très-près la constitution d'un barreau de fonte malléable un peu épais.

La fonte malléable, surtout en petites dimensions, se laisse aisément tordre ou plier sous un angle fort aigu, sans qu'il se déclare de gerçure; mais si le morceau est assez gros, l'âme en fonte se casse, tandis que l'enveloppe en fer continue à résister. On peut marteler, estamper et laminer à froid la fonte malléable. Elle se forge aussi assez bien à basse température. Au blanc naissant elle se brise sous le marteau, et à une chaleur plus forte le centre fuse et part en étincelles. Dans ces conditions, on ne peut songer à un soudage véritable de pièces un peu fortes. Cependant, quelques ouvriers exercés peuvent encoller des lames de ciseaux en acier sur des montures en fonte. Quant à la brasure au cuivre, elle réussit bien.

La fonte décarburée est très-difficilement fusible; elle résiste au feu bien mieux que la fonte et aussi bien que le fer, ce qui permet de l'employer en poches de fonderie, creusets pour métaux précieux, tubulures de chaudières Belleville, etc.

On cémente comme le fer ordinaire la fonte malléable; l'opération réussit même mieux tant sous le rapport de la durée et de la profondeur de l'action, que sous le rapport de la conservation des surfaces et de la qualité du produit.

MM. le général Morin et Tresca ont exécuté au Conservatoire une série d'expériences à la flexion, fort intéressantes, pour étudier les propriétés résistantes de la fonte malléable. Dans les pièces minces, le coefficient d'élasticité a été trouvé égal à 18,929,000,000 kil., la limite d'élasticité à 8,731,000 kil., la résistance à la rupture à 35 kil. par millimètre carré. Faisant ensuite varier l'épaisseur, ils ont trouvé des valeurs moins élevées du coefficient élastique à mesure que l'épaisseur augmentait, et dans le cœur d'un barreau de 40^{m} d'épaisseur, ce coefficient s'est abaissé à 14,785,000,000, valeur égale à celle que fournissent les bonnes fontes.

M. Brüll a soumis à la rupture par traction quinze barres rondes, dont les diamètres variaient de 5 à 20^{mm}; il a trouvé en résumé :

Que, pour ces épaisseurs, la fonte avant recuit avait une résistance de 14^{k} environ, la fonte malléable une résistance moyenne de 32^{k},5 (de 25^{k},6 à 36^{k},4), avec

un allongement proportionnel d'environ 10 à 12 millièmes de la longueur primitive (de 6 à 20);

Que, dans ces mêmes limites de diamètre, la variation d'épaisseur n'avait que peu d'influence;

Que la fonte malléable présentait assez fréquemment des défauts de diverses natures, qui produisaient des écarts notables dans la solidité;

Que la limite d'élasticité paraissait ne descendre qu'exceptionnellement aussi bas que l'avaient trouvée MM. le général Morin et Tresca dans une expérience.

Il conclut de cet ensemble de recherches que la fonte malléable serait aussi résistante et aussi élastique que le bon fer, sans atteindre cependant sous ce rapport la valeur des qualités de choix; mais qu'elle serait de beaucoup inférieure aux fers même moyens pour la faculté de déformation, de sorte qu'elle résisterait moins bien aux chocs intenses.

Il y a en France une quinzaine de fonderies de fonte malléable; il s'en fabrique par jour de quatre à cinq mille kilogrammes, dont le prix de vente moyen, pour pièces ordinaires, oscille entre 1 fr. 30 et 2 fr. On en fabrique beaucoup en Angleterre, et le prix des objets courants ne dépasse pas 0f.80 à 1 fr. le kil.; à cause de cette différence, il s'importe en France divers articles de commerce, et entre autres des clous de chaussures. Mais, dans la plupart des emplois, les questions de commodité s'opposent à une large importation. On fabrique aussi de la fonte décarburée en Allemagne, en Suisse, en Belgique, en Amérique. C'est une industrie assez répandue aujourd'hui dans tous les pays civilisés.

IV. *Emploi.* — On ne peut exécuter en fonte malléable que les objets suffisamment minces, pour peu du moins qu'il s'agisse d'obtenir quelque solidité. D'ailleurs, les objets épais ont généralement un poids assez élevé; le forgeage n'en est pas assez coûteux pour qu'il ne soit pas avantageux de conserver le fer pour leur fabrication. Cependant, pour certaines pièces compliquées, comme une tête de piston, une bielle à fourche, un petit arbre coudé, les difficultés du forgeage, l'énorme déchet et la main d'œuvre laborieuse qu'il laisse après lui, peuvent quelquefois conduire à admettre la fonte malléable.

M. Brüll discute en détail le cas d'une tête de piston, et cite ensuite, à titre d'exemples de l'application de ces considérations, les leviers, bielles, balanciers, guides pignons et roues d'engrenage, de presses à imprimer, de grosses horloges, de machines à coudre, de forges et soufflerie portatives, et de divers autres mécanismes.

C'est pour les pièces minces et légères que la fonte malléable est surtout avantageuse. Les petites clefs à écrous et manches de robinets, les clefs de serrure, de pendule et de lampe, les détails de balancerie, coûtent en fonte moins de moitié que les mêmes objets forgés. Les revolvers qui se fabriquent à des prix très-bas (25 fr. environ) n'ont pas une seule pièce ni en fer ni en acier. Les boutons de courroie, bagues de tringles, de rampes, vis à clef de violon, porte-mousqueton, boucles diverses, viroles coniques, pièces de coutellerie, couvercles de graisseurs, détails de lampisterie, fourchettes à découper, ne coûtent en fonte malléable que 2 fr. ou 2 fr. 50 le kil., tandis qu'en fer ils dépassent souvent 8 ou 10 fr.

Dans quelques cas spéciaux, l'emploi de la fonte malléable donne, en dehors de l'économie, des avantages de qualité. Les pièces renfermant des soudures difficiles, comme un étrier, une bride de ressort, ou les pièces qui s'obtiennent par des défor-

mations considérables du métal qui peuvent en altérer la qualité, comme les viroles de tubes, sont des exemples de ces cas particuliers. Ainsi, MM. le général Morin et Tresca ont reconnu, par des essais minutieux, qu'un étrier en fonte malléable était plus solide qu'un étrier en fer.

Après avoir comparé la fonte malléable, dans divers emplois, à la fonte ordinaire et au bronze, au laiton et à l'acier,

M. Brüll appelle l'attention sur les abus que l'on pourrait être tenté de faire et que l'on a faits déjà quelquefois de la fonte malléable. Son manque d'homogénéité, sa solidité insuffisante, ses défauts intérieurs, son prix élevé sont, dans divers cas, des raisons d'exclusion presque absolue.

Quoi qu'il en soit, il est aisé de constater que la fonte malléable est largement entrée dans la vie usuelle, dans les arts et dans la mécanique. Il n'est personne qui n'en fasse usage presque journalièrement. A table, en voiture, à la chasse, on s'en sert sous vingt formes diverses; on la trouve exposée dans toutes les boutiques en produits très-variés, et, malgré la généralité de son emploi, elle est peu connue et assez mal appréciée. Cela paraît tenir à ce que son seul avantage dans la plupart des cas étant le bon marché, les fabricants qui l'ont employée l'ont toujours vendue pour fer ou pour acier, et se sont bien gardés de faire bruit de la substitution. La mauvaise réputation du produit tiendrait peut-être à son introduction subreptice dans l'usage, aux abus qu'on en a faits, au nom qu'on lui a donné. Quand on la connaîtra mieux, les fabricants pourront l'employer ouvertement, et disposer en vue de cet emploi des formes et des dimensions des objets à exécuter. Elle rendra alors de plus grands services, et pour peu que des perfectionnements dans la fabrication, restée à peu près stationnaire, viennent à en abaisser notablement le prix, l'application pourra s'en développer dans une large mesure.

M. le Président dit que la qualité de la fonte malléable est excessivement variable et qu'elle présente d'assez grandes difficultés d'emploi, entre autres celle d'exiger une assez grande uniformité dans l'épaisseur des pièces.

M. Brüll rapporte que pour étudier l'influence que de grandes inégalités d'épaisseur pourraient avoir sur la qualité du produit, il a cherché à reconnaître si un recuit prolongé qui serait nécessité par l'existence de parties épaisses diminuait la résistance des parties minces du même objet. L'une des tiges, de 5 millimètres de diamètre, dont il a fait l'essai, avait été recuite deux fois pendant une semaine chaque fois; sa résistance a été trouvée égale à celle de l'autre tige qui n'avait subi qu'un seul recuit.

M. le Président fait observer que les pièces en fonte malléable ont en outre cet inconvénient grave, qu'une fois brisées elles sont perdues, et il a l'expérience qu'il est quelquefois plus avantageux de payer plus cher des pièces en fer ou en acier qu'on peut réparer en cas d'accident.

M. Brüll répond que la fonte malléable peut se braser tout aussi bien que le fer. Quant à la valeur de la vieille matière après usage, elle n'a que peu d'importance, puisqu'il s'agit de pièces dans lesquelles la main-d'œuvre est toujours considérable.

M. Lainé affirme que la fonte malléable peut se braser.

M. Nozo rend compte de quelques essais faits au chemin de fer du Nord, et qui n'ont pas été satisfaisants.

Il cite particulièrement les viroles pour tubes de locomotives qu'on avait appli-

quées sur une assez grande échelle; ces pièces ont manqué de résistance; des clefs de robinets, livrées comme étant de fer, ont résisté tant qu'on a pu manœuvrer les robinets à la main, mais au moindre grippage, exigeant un supplément d'effort, les clefs se cassaient.

Les clefs à fourches pour écrous de boulons n'ont pas mieux valu.

M. Nozo a toujours remarqué une grande irrégularité dans le métal.

M. Tresca dit que la fabrication de la fonte malléable est beaucoup plus considérable qu'on ne le suppose.

On fait avec ce métal la plupart des pièces de quincaillerie, et comme elles se répètent un grand nombre de fois, on a pu créer certains procédés spéciaux; et grâce à ces procédés et aussi à quelques perfectionnements qu'il n'est malheureusement pas permis de divulguer, on a obtenu une assez grande régularité dans la nature du métal.

L'une des applications les plus intéressantes est celle des clous de souliers qui se fabriquent en Angleterre, et dont l'importation en France remonte à six mois environ.

Cette industrie rentre dans celle de la fonte malléable par le mode de fabrication; les clous sont fondus et soumis à la décarburation; mais ce procédé n'est pas appliqué intégralement; on arrête plus tôt la décarburation, en sorte que les clous se rapprochent moins du fer que la fonte malléable ordinaire. Le métal qui les compose est un intermédiaire entre la fonte et le fer, il présente la dureté de l'acier : c'est un très-grand avantage dans ce cas particulier, puisqu'il s'agit de pièces qui s'usent par frottement.

Peut-être pourrait-on tirer quelque profit de ce procédé de décarburation incomplète, en produisant directement ce qu'on obtient aujourd'hui avec la trempe après fabrication complète.

M. Brüll, répondant aux observations de MM. Nozo et Tresca, dit, à l'égard des clefs à écrous et des clefs de robinets, que les grosses clefs, qui seules peuvent avoir de grands efforts ou des chocs intenses à supporter, ne se font guère en fonte malléable par raison d'économie, et que, quant aux petites clefs pour lesquelles on emploie souvent ce métal, la question de résistance est secondaire. D'ailleurs, un de nos grands établissements de construction mécanique, qui par un honorable scrupule ne livre avec ses machines aucune série de clefs qui ne soit en fer forgé, a cru pouvoir employer exclusivement dans tout son atelier les clefs en fonte malléable, en n'exceptant que les clefs d'un calibre trop fort pour qu'il y ait économie à la substitution. Quant aux viroles de tubes, les essais en grand qui ont été faits au chemin de fer du Nord n'y ont été entrepris qu'à la suite d'une série d'épreuves comparatives, dont la fonte malléable était sortie à son avantage. On avait frappé au marteau sur des viroles en fer embouti et sur des viroles en fonte malléable, et tandis que les premières sautaient en éclats après deux ou trois coups, les autres, tout en résistant bien, pouvaient être pliées en forme de 8 sans montrer de gerçures. La mollesse qui a été observée plus tard pouvait être aisément corrigée par quelque léger changement dans la fabrication.

Réaumur a remarqué en effet, en étudiant les différentes phases de la décarburation, qu'en l'arrêtant à temps, on obtenait un produit d'une grande dureté, prenant bien la trempe, et qui ressemblait fort à de l'acier. Les clous de chaussures sont probablement fabriqués de cette façon. M. Brüll n'a pas cru devoir développer longuement les questions relatives à l'obtention d'une espèce d'acier par le recuit, à cause de la difficulté qu'il y aurait en pratique, et surtout avec les inégalités d'épaisseur, à

obtenir à coup sûr un métal d'une dureté déterminée. Mais il est des cas particuliers, et les viroles et les clous en sont des exemples, où l'on pourra utilement tirer parti des observations de Réaumur.

Séance du 6 Novembre 1862.

Présidence de M. le Général MORIN.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Guillot, membre de la Société, ingénieur au chemin de fer Victor-Emmanuel, a été nommé chevalier de l'ordre de Saint-Maurice et Lazare.

M. TRONQUOY, au nom de M. Galibert, inventeur, fait connaître un appareil qui peut être employé principalement :

1° Comme appareil à plongeurs, à puisatiers et à mineurs ;

2° Pour pénétrer sans danger et y séjourner un temps considérable, dans tout lieu rempli de fumée ou de gaz délétères;

3° Pour prendre les bains généraux ordinaires, en ce qu'il permet l'immersion complète pendant toute la durée du bain, mais utile surtout lorsque ces bains sont ordonnés par une affection quelconque de l'une des parties de la tête, ou pour cause de blessures.

L'appareil se compose :

1° D'une pièce de bois ayant la forme et la dimension de la bouche humaine ouverte;

2° De deux tuyaux en caoutchouc, qui lui sont adhérents, dont la longueur est déterminée par les circonstances où l'on doit opérer;

3° D'un pince-nez destiné à empêcher l'introduction de tout liquide ou de tout gaz délétère dans les fosses nasales.

La pièce en bois est percée de deux trous, munis chacun d'un petit ajutage auquel correspond un des tuyaux. L'opérateur ayant introduit la pièce en bois dans sa bouche, après s'être préalablement pincé le nez à l'aide du petit appareil spécial, respire en portant l'extrémité de sa langue dans l'un des trous, et l'y maintient tant que dure l'aspiration. Puis, au moment de commencer l'expiration, il porte la langue dans le deuxième trou, et la maintient dans cette position tant que dure l'expiration. Il recommence le même mouvement pour chaque aspiration et expiration. Quelques minutes d'exercice suffiront à un opérateur nouveau, pour que sa langue se porte instinctivement dans chacune des ouvertures. D'ailleurs, une erreur n'aurait d'autre inconvénient que de ramener dans le poumon de l'air qui aurait été déjà respiré, puisque la langue fait fonction de soupape, de manière que l'un des tuyaux serve uniquement à l'introduction de l'air neuf, et l'autre tuyau à l'expulsion de l'air expiré.

Pour le cas où l'appareil doit servir à des immersions profondes ou à pénétrer dans de grandes cavités, l'auteur, dit M. Tronquoy, a modifié la fabrication de la manière suivante. Au lieu d'employer deux tuyaux en caoutchouc cylindriques débouchant à l'air libre, il se sert de tuyaux armés dans plusieurs endroits de leur

longueur de sphères creuses, capables de contenir une assez grande quantité d'air. Dans ce cas, les extrémités des deux tuyaux sont réunies de manière à ne plus communiquer avec l'atmosphère.

L'appareil a ainsi la forme d'un chapelet; l'opérateur respire alors l'air contenu dans les sphères de l'un des côtés, tandis qu'il chasse l'air expiré dans les sphères du côté opposé. Il est évident que dans ce système le temps de l'immersion, au milieu des gaz délétères, est en rapport direct avec la capacité des sphères.

Une autre modification que l'auteur se propose d'essayer également consisterait dans l'emploi de deux capacités pleines d'air en communication entre elles par un tube étroit, et que l'opérateur adapterait à son vêtement. L'air neuf serait aspiré dans l'une, et l'air vicié envoyé dans l'autre, où il se dépouillerait sur de la chaux vive de l'acide carbonique qu'il contiendrait.

Ces deux dispositions n'ont pas encore été l'objet d'expériences officielles; mais l'appareil le plus simple a été soumis à l'examen d'une commission composée d'officiers du corps des sapeurs pompiers de la ville de Paris, qui a constaté sa réussite. Devant cette commission, M. Galibert a pu rester pendant vingt minutes dans un local où on entretenait une fumée épaisse, et après lui un sapeur a pu renouveler l'expérience sans inconvénient pour lui.

Il faut observer que dans tous les cas les tubes en caoutchouc doivent être soutenus de manière à ne pas fatiguer la bouche, qui sans cela aurait à supporter une trop grande partie de leur poids.

M. Tronquoy ajoute qu'il croirait manquer à la justice s'il ne rappelait que M. Cabirol, qui le premier en France a construit des scaphandres, a, dès 1856, proposé un appareil analogue à celui présenté par M. Galibert. Il n'en diffère qu'en ce qu'il est construit en métal, les ajutages étant munis chacun d'une soupape, l'une aspirante, l'autre refoulante, et qu'en outre une plaque formant rebord vient s'appliquer entièrement sur la bouche, sur laquelle elle est maintenue par un cordon s'attachant derrière la tête.

Cette disposition est employée avec succès à Amélie-les-Bains pour des bains à immersion complète.

M. Cabirol avait complété l'appareil par l'addition d'un masque en caoutchouc, enveloppant la tête complétement, et muni de verres en face des yeux; cet appareil était destiné à suppléer le scaphandre dans quelques cas, et alors le plongeur s'adaptait une ceinture de natation vide d'air au moment de l'immersion, et qu'il devait remplir avec l'air expiré lorsqu'il voulait remonter à la surface de l'eau.

M. le général Morin a eu l'occasion d'examiner l'appareil de M. Galibert, qui est très-simple et très-économique de construction, et qui avec un peu d'exercice est d'un emploi facile. Cet appareil lui semble surtout utile par sa simplicité, qui permettra de l'employer dans beaucoup de travaux de fouilles, de recherches de mines.

M. Gaudry décrit ensuite la double opération qui vient d'être faite par M. Hittorf fils et le maître charpentier Dupré, sous la direction de M. Hittorf père, afin de substituer au faîte de la colonne Vendôme, à la statue de Napoléon élevée en 1833 par MM. Lepère et Hittorf, une statue nouvelle due à M. Dumont, membre de l'Institut, et fondue dans les ateliers de M. Thiébaut.

Il s'agissait d'enlever et de descendre la statue qui existait, puis d'en remonter et d'en sceller une autre. Les procédés adoptés furent les mêmes qu'en 1833. Ils sont d'une grande simplicité.

Une plate-forme de 15 mètres carrés, entourée de garde-corps, fut d'abord établie au sommet de la colonne, des madriers de $\frac{0.25}{0.16}$ en furent les principales pièces. Le tout avait son appui sur le chapiteau étroit de la colonne, au moyen de poutrelles inclinées.

Tout le système embrassait en outre la lanterne ou dôme qui est au-dessus du chapiteau.

C'est sur cette plate-forme que se trouvait l'appareil élévatoire, et que demeurèrent par un temps de tempête les artistes, les architectes et les manœuvres, soit vingt hommes.

L'appareil élévatoire proprement dit est une sorte de grue, montée sur des patins glissants. Les pièces principales sont deux montants inclinés en sapin de $\frac{0.25}{0.16}$, entretoisés par une croix de Saint-André, arc-boutés par les pièces droites voulues, et reliés en haut par la traverse d'où pendaient le palan élévatoire et son câble, dont le bout opposé à celui qui retenait la statue s'enroulait sur le tambour d'un treuil manœuvré par deux moulinets. Ce treuil, le même qui fut construit en 1833 pour la circonstance, recevait seulement un quintuple enroulement du câble élévatoire, suivant l'usage des marins, et à mesure que celui-ci se débitait, le bout pendait au dehors. Un second câble dit de sûreté retenait encore la statue, s'enroulait et se débitait de même sur le treuil. Celui-ci était en contre-poids de l'autre côté des montants inclinés de la grue, qui lui fournissait un support, les manœuvres, au nombre de quatre à six, s'ajoutaient en contre-poids à la charge de la statue qui était de 3200 kilog. pour la statue descendue, et de 2700 kilog. pour la statue élevée. Le principal câble élévatoire était en chanvre tressé, sur 48 millimètres de diamètre; il était neuf, avait été éprouvé, et était calculé pour une charge de 38 kilog. par chaque brin de toron.

On édifia la grue dans l'axe de la colonne, au-dessus de la statue qu'il fallait d'abord enlever de son socle, puis la grue avec sa charge glissa vers l'extrémité de la plate-forme qui regarde le ministère de la justice; la statue étant ainsi arrivée en surplomb de la colonne et assez loin du fût pour qu'il n'y eût aucun choc à redouter s'il se produisait du balancement, on lâcha peu à peu le treuil, la statue pendant au bout du câble dans une sorte de cage formée par quatre montants de fer, que réunissait une traverse commune. L'enlèvement, le déplacement de la grue et la descente demandèrent deux heures un quart.

On devait faire immédiatement la manœuvre contraire pour enlever et mettre en place la statue nouvelle; mais différents travaux qu'il fallut exécuter sur place, tels que l'abatage d'oreilles venues à la fonte, l'agencement des cordages pour l'enlèvement, firent ajourner l'opération au lendemain.

A onze heures, l'ascension commença; elle dura trois heures; une autre heure fut employée à reculer la grue pour amener la statue dans l'axe du socle, ce qui se fit d'emblée, sans tâtonnement, mais avec lenteur à cause de la difficulté du glissement des patins, gonflés par la pluie.

Un autre incident causa quelques minutes d'émotion : les cordes qu'on avait substituées à la cage pour attacher la statue nouvelle, mouillées par la pluie, s'étant allongées sous la charge au delà de toute prévision, on craignit de voir se joindre les poulies du palan avant que le socle de la statue atteignît la plate-forme.

Il y parvint, cependant, mais bien juste, grâce à la marge que l'architecte s'était réservée partout.

Pour faire glisser la grue sur ses patins, on avait ménagé au bout de la plate-forme opposée au ministère de la justice un treuil marin et deux palans tirant sur les patins directement dans la deuxième opération, indirectement à l'aide de poulies de renvoi dans la première.

Deux pinces à levier, sortes de tenailles à levier, enrayaient le câble lorsqu'il fallait ramener au point voulu son enroulement sur le tambour du treuil et empêcher le chevauchement, ou bien, s'il devenait nécessaire, d'arrêter le treuil par une cause quelconque; les chiens ou cliquets du treuil n'ayant pas paru présenter des garanties suffisantes.

De sept mètres en sept mètres sur la longueur du câble, on enrayait celui-ci au moyen des tenailles sur lesquelles on frottait préalablement de la résine pour prévenir le défaut d'adhérence. On inspectait tout avec soin, et, reprenant la manœuvre des moulinets du treuil, pour laquelle six hommes suffisaient, on continuait l'ascension avec lenteur calculée, sans qu'il y ait eu la moindre secousse ni de balancement sensible pour une hauteur d'élévation de 42 mètres environ.

La colonne Vendôme a repris ainsi son aspect primitif, et maintenant que le monument lui-même a reçu les consécrations du temps, il est permis de dire que l'œuvre de Lepère, son auteur, a par cela même fait justice des critiques passionnées qui l'avaient presque fait condamner à une destruction prochaine.

A l'époque où fut construite la colonne Vendôme, en pierre de taille, avec un escalier intérieur à marches de bronze, on conjurait Lepère de renoncer au revêtement de bronze à bandes hélicoïdales qui ne résisterait pas, disait-on, aux tiraillements de la dilatation et de la contraction pour lesquels il n'avait rien ménagé. Tout, au contraire, avait été si bien prévu dans les assemblages avec trous ovalisés, comme dans l'attache des chaudières de locomotive sur les longerons, que depuis un demi-siècle la colonne subit entre les extrêmes températures d'hiver et d'été le jeu considérable si souvent cité comme exemple des effets de la dilatation, sans que l'inspection du 4 novembre 1863 ait pu faire découvrir une seule fissure. Aujourd'hui, l'œuvre évidemment réussie de Lepère a reçu un nouveau titre à l'intérêt des ingénieurs dans la double opération que MM. Hittorf et Dupré viennent encore une fois de conduire à si bonne fin.

M. Renard a été reçu membre de la Société.

Séance du 20 Novembre 1863.

Présidence de M. Petiet, *Vice-Président.*

M. Sieber présente sa troisième note sur le principe du durcissement des rails par une compression additionnelle à basse température.

Dans cette note il définit les conditions de densité, de pesanteur spécifique, ou de concrétion moléculaire du fer ordinaire à la houille, relatives au traitement à diverses températures.

En prenant texte sur quelques conclusions contenues dans le livre de M. Kirkaldy, de Glasgow, M. Sieber développe divers points se rattachant à son système.

Il définit d'abord dans quel cas le réchauffage ultérieur d'une pièce de fer n'altère point la pesanteur spécifique primitive, et dans quel autre cas cette pesanteur peut être altérée d'une manière tout à fait indépendante de la nature du fer ou de son impureté.

A température égale de finissage, dit-il, un cube en fer ordinaire à la houille accusera une densité moindre qu'un cube semblable en fer affiné au charbon de bois; mais, si le cube en fer à la houille était terminé de forge à une température plus basse, sa pesanteur spécifique serait plus grande malgré l'impureté de la matière.

M. Sieber admet comme axiome que, la même température produisant sur un même fer un même relâchement dans l'agrégation moléculaire, le refroidissement, à partir de cette température, ramènera toujours les molécules au même état de concrétion. D'après cela, une pièce pourrait être réchauffée à diverses reprises à la même température, sans que, devenue froide, elle accuse de variation sensible dans sa densité.

M. Sieber donne quelques chiffres, desquels il résulte que la pesanteur spécifique peut en effet s'augmenter par le travail du fer à basse température, et cela d'une manière tout à fait indépendante de la nature de la matière.

En concluant sur ce point, M. Sieber revient sur ce qu'il a déjà dit dans sa première note, et répète que, le fer accusant un poids spécifique d'autant moins grand que son refroidissement a commencé à partir d'une température plus élevée, il s'ensuit nécessairement que, par rapport aux rails, la matière sera d'autant moins dense que le rail aura été fini plus chaud.

Il donne en outre, d'après M. Kirkaldy, ce résultat, que du fer laminé (en faible échantillon) n'a accusé qu'un poids spécifique de 7.577, tandis qu'une portion de la même pièce martelée à basse température a accusé 7.648.

M. Sieber ajoute que cette augmentation de densité, rapportée sur les rails par la compression finale, aurait une influence des plus favorables pour leur durée.

S'attachant ensuite à développer la remarque faite par M. Brüll, lors de la discussion du 5 juin, M. Sieber, tout en ne contestant pas ce fait, que, par le traitement du fer à froid, la densité décroît au lieu d'augmenter, établit une différence très-grande entre le travail du fer à froid et celui appliqué sur le fer à basse température.

Il dit que c'est à tort que l'on confond souvent son procédé avec le laminage à froid, quand il existe une différence aussi radicale entre les deux termes.

Autre chose est de battre ou de comprimer le fer à basse température (aussi basse qu'elle puisse être relativement à l'état chaud, tel qu'on le comprend dans les usines), alors que la matière est encore susceptible de se comprimer sans s'altérer dans son agrégation physique; et autre chose, de battre ou de comprimer une masse en fer devenue solide, sous un clivage de cristallisation définitif, réduite pour ainsi dire à l'état de roche.

Suivant M. Sieber, il serait démontré pratiquement que, dans le premier cas, le travail de compression tend à serrer les pores d'autant plus efficacement, que le fer, étant devenu plus dense, se prête moins à l'allongement, et que la grande contraction des molécules, au moment où le fer achève son retrait total, fait que la densité artificiellement acquise devient d'autant plus permanente que le refroidissement complet est plus immédiat; dans le travail sur le fer à froid, au contraire, on agit sur une masse qui ne peut plus changer de forme. Lorsqu'il s'agit de fers impurs, surtout, la masse à l'état de grande expansion, due à la réfractibilité des

silicates (malgré la malléabilité inséparable aux molécules métalliques), ne saurait se déformer, ni se condenser, sans briser les agrégats cristallisés, c'est-à-dire sans altérer l'agrégation moléculaire, quelle qu'elle puisse être par rapport au retrait physique qu'elle a subi lors de son refroidissement.

M. Sieber dit que la percussion ou la compression sur une masse de fer impur, à l'état froid, loin d'amener une augmentation de densité, agit d'une manière analogue au bris de la larme Batavique.

Sur le fil de fer, l'effet de désagrégation par l'étirage à froid se modifie grandement par l'influence de la chaleur qui se développe par le frottement du fer dans la filière.

M. Sieber pense que, sans le concours de cette température (qui fond le plomb et brûle le bois), le fil de fer perdrait davantage sur son poids spécifique, et l'étirage du fer deviendrait presque impossible; il est démontré du reste, par les essais de M. Kirkaldy, que la densité du fil de fer, par rapport à celle du fer martelé à basse température, est évidemment au-dessous; ainsi, la densité du fil de fer recuit étant en moyenne 7.580, celle du fer martelé à basse température écroui et recuit se maintient à 7.684. C'est là, suivant M. Sieber, une preuve bien évidente que le martelage ayant lieu à basse température (puisque le fer s'écrouit), le fer acquiert et conserve une densité artificielle bien supérieure à celle que l'on obtient par l'étirage à froid.

M. Sieber examine ensuite cette autre conclusion, erronée suivant lui, à savoir : « qu'il n'est pas exact d'admettre que le fer qui a perdu sa croûte soit plus résistant que lorsqu'il est tourné ou que la croûte est enlevée. » C'est là un point qu'il s'applique à expliquer avec une certaine force d'arguments par ce motif que, dans la séance du 5 juin, une objection basée sur ce principe a été soulevée par un membre de la Société, qui a mis en doute que la croûte sur les rails fût un élément favorable pour leur durée.

Contre cette supposition, M. Sieber fait remarquer qu'en enlevant au burin la croûte sur une partie de la surface de roulement d'un rail, cette partie s'use beaucoup plus rapidement que le restant de la surface qui a conservé sa croûte; il cite certaines barres en fer forgé dressées par le rabotage, entrant dans la confection de certains appareils spéciaux des voies, lesquelles, malgré la supériorité de la matière qui s'attache au fer forgé, par rapport aux rails ordinaires, s'usent néanmoins plus promptement que les rails bruts auxquels elles se raccordent; il dit : d'où vient que les bandages de roues de wagons, que l'on fait rouler bruts de forge, s'usent moins vite pendant la première période de service, sinon de l'influence de la croûte? Si la qualité supérieure de la matière avait une influence égale à celle de la croûte, le retournage des bandages se suivrait dans un rapport égal de parcours kilométrique, ce qui est loin d'être réalisé jusqu'ici sur nos lignes ferrées, quelle que soit la supériorité de la matière employée. Il pense au contraire qu'en principe la croûte contribue puissamment à la durée des rails.

M. Sieber ne se préoccupe pas de la nature de la matière; les fers fins qui offriraient le plus de garantie de durée, dit-il, sont trop chers pour qu'on puisse jamais les appliquer à la fabrication des rails ordinaires, qu'il faut obtenir avant tout à bon marché; ce qu'il importe le plus d'obtenir, après les bonnes soudures, c'est la dureté de la surface de roulement; plus la croûte sera épaisse, plus la durée du rail sera longue; la compression finale qu'il a propose d'appliquer aux rails n'est autre que le moyen d'arriver à ce but; condenser la surface de roulement à

une profondeur suffisante, pour qu'elle puisse réagir à l'effort d'écrasement que les barres subissent en service. Il démontre que les rails se détruisent par déformation, d'une part à cause que la matière interne est trop molle, et d'autre part que la croûte est trop mince pour réagir contre la pression des roues qui donnent sur le rail une charge pouvant atteindre 7,000 kilog. et cela en un point qui mathématiquement n'a pas de surface.

En faisant appel à ce qu'il a dit à propos du travail du fer à froid, il maintient que la destruction du rail dérive précisément du refoulement de la surface; refoulement qui, se produisant à froid, devient la cause première de toutes les altérations qui se présentent si prématurément; le refoulement est même la cause qui met à jour bon nombre de dessoudures entre les mises, lesquelles ne se présenteraient pas, ou ne se présenteraient qu'en proportion plus restreinte, si le rail était plus dur à la surface.

M. Sieber ajoute que le moyen de durcir la surface des rails par une compression finale à basse température est susceptible d'une application très-étendue, surtout en ce qui concerne le matériel des chemins de fer; mais ses tendances se bornent pour le moment à l'amélioration de la durée des rails, il craindrait d'en compromettre l'application à un article de si grande consommation en cherchant à l'appliquer à la fois d'une manière trop étendue. Ce qu'il lui semble nécessaire de poursuivre encore, c'est une plus grande unanimité d'opinion parmi les ingénieurs au sujet de l'influence sur le fer, de la compression à basse température.

La note de M. Sieber s'étend ensuite dans quelques considérations relatives à la ténacité du fer, qui est extrêmement variable, suivant la force de la section des barres ou des pièces forgées.

Il arrive à cette conclusion qu'il n'est pas possible d'appliquer avec sûreté aux calculs de la résistance des grosses pièces de forge les coefficients admis jusqu'ici, attendu que ces coefficients dérivent d'essais faits sur des types de trop faible échantillon laminés ou forgés, lesquels donnent généralement des moyennes de résistance plus considérables. Après avoir cité la résistance d'un paquet de fer pour rail, refroidi après quelques passes sous les cylindres, résistance qu'il trouve à peine comparable à celle des bonnes fontes d'Écosse, il rappelle quelques résultats des expériences de M. Kirkaldy, et il démontre que des barreaux pris par le rabotage dans le centre d'un tourillon d'une manivelle d'arbre coudé, forgé en fer de mitraille (supposé de première qualité), se sont rompus sous une charge de 6,000 kilog. en moins que des barreaux de même section en fer à la houille produits par le laminage direct.

Il est évident, d'après cela, ajoute M. Sieber, qu'en attribuant à la pièce de forge la résistance théorique, elle serait pratiquement trop faible.

Enfin, en terminant sa note, M. Sieber rappelle que dans la fabrication du fer de commerce, plusieurs articles sont laminés ou martelés à basse température pour donner aux uns la dureté, aux autres la ténacité, et pour plusieurs, ces deux qualités réunies.

Les fers à cercles de tonneaux sont terminés sous l'espatard au rouge noir, ces fers offrent une très-grande ténacité à la traction; battus pendant leur refroidissement, ils deviennent aussi élastiques que l'acier.

Les barres pour cercles de roues sont martelées à basse température pour les rendre dures, propres à résister à l'usure. Les fusées d'essieux de charrettes sont martelées à basse température pour les rendre propres à résister à l'usure aussi bien qu'à la rupture.

Les pelles, les socs de charrue, et une foule d'autres instruments sont martelés à

basse température pour les écrouir, et leur donner une dureté suffisante pour leur usage, sans avoir recours à l'aciérage.

M. Sieber soumet enfin à la Société des échantillons de fer traités à diverses températures, sur lesquels il a été constaté des résistances variables, d'où il résulterait qu'une pièce martelée à très-basse température aurait fourni à la rupture une résistance supérieure, qui serait comme 4 est à 7, par rapport à la pièce finie au rouge vif, refroidie sans autre travail de compression.

M. Sieber ajoute quelques explications à sa communication. Répondant à une question de M. le Président, il indique que son procédé n'a pu encore être expérimenté que sur des barres plates, qui ont donné les résultats indiqués dans sa note; pour les rails, il ne peut citer que le fait déjà rapporté par lui, savoir : que des rails terminés accidentellement à basse température, et posés sur une des lignes du réseau du Nord, ont été retrouvés intacts après douze ans de service, tandis que d'autres rails de la même voie avaient dû être retournés. En outre, il est généralement admis que les anciens rails ont duré beaucoup plus longtemps que ceux fabriqués plus récemment. M. Sieber attribue ce fait à la faiblesse des anciens trains de laminage, qui ne permettaient pas de terminer les rails à une température suffisante pour être sciés. L'emploi de trains plus puissants et le finissage à haute température ont coïncidé avec la diminution de résistance au mouton et la disparition du nerf.

M. Sieber explique que l'essai de son procédé exigerait une modification de l'outillage actuel, parce que les cylindres finisseurs ne sont pas assez durs et sont d'un diamètre trop faible; il a pu obtenir, à l'usine de Maubeuge, de faire ralentir le laminage; mais la température des barres était encore telle qu'elles pouvaient être sciées. Il résume comme suit le mode de fabrication qu'il propose : laminage chaud pour assurer la soudure; avant les deux dernières cannelures, sciage du rail, qu'on laisserait refroidir au rouge brun; enfin, passage des deux dernières cannelures dans une paire de cylindres durs, à très-faible vitesse. Dans une usine belge, on estimait à 8,000 fr. les frais d'installation, non compris la machine, qui était disponible. Quant à l'augmentation de main-d'œuvre qu'exigeait ce procédé, M. Sieber l'évalue à 0,50 au plus par tonne.

M. Petiet pense qu'on pourrait peut-être faire quelques expériences comparatives en employant des étampes. Quant à la question de durée des rails, il est d'avis que c'est la nature du fer qui est le point essentiel.

M. Sieber fait observer que les qualités supérieures ont toujours été admises pour les appareils spéciaux de la voie; mais elles sont nécessairement exclues dans la fabrication des rails ordinaires; or, c'est à cette qualité ordinaire que s'applique son procédé.

M. Petiet entend bien limiter aux rails ordinaires son observation sur la nature du fer; au chemin de fer du Nord, l'épreuve de garantie a fait reconnaître de grandes différences entre diverses usines qui emploient, d'ailleurs, le même procédé de laminage.

M. Donnay cite l'usine de Styring-Wendel, qui livre au chemin de fer du Nord, au prix de 18 fr. les 100 kilog., des rails ne donnant que 1 1/2 à 2 pour 100 de déchet, après deux ans de service sur les voies principales, en comptant comme déchet la longueur entière des barres avariées; tandis que des usines anglaises ont donné jusqu'à 12 pour 100, déduction faite des longueurs utilisables. M. Donnay attribue en partie ce résultat au mode de fabrication des couvertes qui, à Styring, sont com-

posées de mises verticales; il doit arriver qu'une partie au moins de ces mises soient soudées avec le corps du paquet.

M. Petiet fait remarquer que, d'après le mode de garantie en usage, les maîtres de forges sont intéressés à employer tous les procédés qui peuvent améliorer leur fabrication; il ne conviendrait pas d'ajouter en ce sens, aux prescriptions du cahier, des charges qui ont été très-restreintes afin de laisser entière la responsabilité des fournisseurs. Les résultats cités dans la note de M. Sieber ne semblent pas, d'ailleurs, parfaitement concordants; dans certains essais, la densité a été augmentée; dans d'autres, diminuée par la compression; dans tous les cas, la différence est assez faible.

M. Goschler fait remarquer que M. Sieber a donné une explication plausible de ces différences. Si l'on martèle une matière refroidie, on détruit la cohésion et la densité diminue; le contraire a lieu lorsque la matière n'est pas complétement solidifiée.

M. Tresca a été particulièrement frappé par les explications données par M. Sieber au point de vue de l'ancienne fabrication avec la nouvelle. Quant aux considérations métaphysiques, d'ailleurs contestables, exposées par M. Sieber, il n'est pas démontré que la densité varie comme il l'indique. On se demande en outre si, de ce que des résultats favorables ont été obtenus dans l'ancienne fabrication, on aurait par cela même la certitude d'obtenir une amélioration nouvelle en abaissant encore la température ; il est évident d'ailleurs que si le fer ne conservait pas un certain degré de malléabilité, on arriverait dans la compression à des résistances impossibles; de sorte que le raisonnement de M. Sieber, qui peut être exact entre telles et telles limites de température, lui paraît *a priori* aventuré en dehors de ces limites. Pour faire des expériences utiles, il faudrait opérer sur des barres rectangulaires comprimées, soit au marteau, soit au laminoir, et il serait alors possible de déduire, des résultats obtenus, des chiffres sur lesquels on pourrait se baser pour améliorer d'une manière rationnelle la température des dernières opérations de laminage qui pourraient ressortir de la comparaison des résultats.

M. Sieber explique que la compression du rail à basse température n'exigerait pas une grande puissance, attendu que la barre étant amenée, avant cette opération, à une section peu différente de celle définitive, il suffirait pour ainsi dire d'aider le retrait par un passage dans deux ou trois cannelures à très-faible vitesse; si l'on allait vite, on produirait seulement un allongement. Il y aurait une grande différence entre cette compression à basse température et une action mécanique opérée sur un rail froid ; dans ce dernier cas, on a reconnu que le martelage des rails détache le fer corroyé ou produit des crevasses dans le champignon.

M. Goschler ajoute aux explications précédentes un éclaircissement sur le mode de laminage proposé par M. Sieber. Le passage des rails dans la seconde cannelure de l'appareil spécial aurait lieu de telle façon que l'axe du rail fût vertical, afin que la compression s'opérât sur la face supérieure du champignon; dans la cannelure suivante, disposée comme à l'ordinaire, le rail serait amené au profil définitif.

M. Dallot croit que le procédé de M. Sieber ne présenterait pas de difficultés, et qu'on peut prévoir que la dépense qu'il entraînerait serait tout à fait comparable à celle d'autres procédés admis par la pratique, tels que le martelage et le réchauffage des paquets. Le fait rappelé par M. Sieber de la durée exceptionnelle des anciens rails est général et s'applique, par exemple, aux essieux coudés dont la durée, d'après des documents statistiques que M. Dallot a eus à sa disposition, a toujours été

en diminuant. Il attribue ce résultat au mode actuel de travail à haute température dans lequel le fer conserve, à la fin de l'opération, un état pâteux, tandis que l'action prolongée des anciens appareils d'une moindre puissance l'amenait à l'état de métal fibreux. Aujourd'hui avec l'emploi des marteaux-pilons pesant six, dix, vingt tonnes et plus, que fait-on, si ce n'est de mouler en quelque sorte une véritable pâte, qui reçoit telle forme extérieure qu'on veut lui donner, mais dont la structure intime se dispose tout à fait indépendamment de notre volonté; aussi qu'obtient-on? une masse granuleuse, sans homogénéité, sans nerf, sans trace de fibres, dont les éléments sont de moins en moins résistants à mesure qu'on s'éloigne de la croûte impressionnée seule par le forgeage.

Tous les efforts tentés pour réagir ont été vains. Les fabricants refusent aujourd'hui de garantir la moitié du parcours que les essieux sortis de leurs ateliers effectuaient sans peine il y a quinze ou vingt ans, et les faits justifient leur prudence. La cause s'en retrace à la modification des procédés de fabrication. Il faut rendre le même principe en grande partie responsable du niveau où est tombée la qualité des rails. Les usines à rails, aiguillonnées par une concurrence extrêmement âpre, cherchent à satisfaire aux garanties sévères et efficaces qu'on commence à leur imposer avec raison en employant tous leurs efforts à obtenir un bon soudage. C'est là sans doute un côté très-important de la question; mais est-ce le seul? Des champignons bien soudés résistent aisément à l'épreuve d'un service de deux ou trois ans. Le fait est certain. Mais est-il indifférent aux compagnies que la surface de roulement soit usée et déformée au bout de quatre ou six ans, suivant le point du réseau, au lieu de dix ou douze? La moyenne de la durée des rails, sur les chemins anglais, varie de cinq à huit ans. Une durée de dix ans est maintenant un maximum très-exceptionnellement atteint. A l'origine, cependant, les rails faisaient un service de quinze, vingt ans et plus. Il existe des rails posés il y a trente ans qui n'ont pas encore été remplacés. On ne dira pas qu'ils n'ont pas eu à subir l'augmentation du trafic comme les nouveaux rails. Dans le voisinage des grandes gares, où l'activité de la circulation est excessive, spécialement sur les lignes qui rayonnent de Londres vers les divers ports de la côte sud-est, les rails ne durent que deux ans. Prétendra-t-on qu'il faut renoncer à accroître ce temps de service; et avant d'en venir à l'emploi de l'acier pour les rails, remède radical mais encore trop coûteux; est-il défendu de chercher à tirer un meilleur parti du fer? Le moyen, dit M. Sieber, c'est de durcir la matière en condensant sa texture par une pression énergique à une température relativement peu élevée. Toutes réserves faites en faveur des résultats de l'expérience, qui, en définitive, est l'arbitre souveraine, il est impossible de ne pas reconnaître que bien des arguments, basés sur des faits positifs, militent en faveur du point de vue de M. Sieber ; et que tout au moins son système possède une valeur théorique, offrant suffisamment de chances de succès pour que les ingénieurs doivent l'encourager, et l'appuyer de tous leurs efforts.

On objecte maintenant que le procédé de M. Sieber sera inapplicable, en raison de la dépense qu'il entraînera, et l'on prétend même qu'on ne peut évaluer à l'avance la quantité de force motrice nécessaire pour le réaliser, quantité qu'on a même représentée comme voisine de l'infini! Cette objection repose sans doute sur un malentendu. Autrement il serait impossible de la comprendre. M. Sieber ne propose pas de laminer les rails dans des conditions nouvelles ou inusitées.

M. Dallot croit qu'on peut évaluer l'augmentation du prix de revient, résultant du procédé de M. Sieber au taux de celle qui se produit quand, avant de laminer les pa-

quets, on les soumet à un martelage, suivi d'un second réchauffage. Qu'il y ait accroissement de dépense, c'est ce qui est parfaitemeet évident. Mais il est tout aussi certain que les compagnies ont intérêt à payer un peu plus cher pour obtenir une meilleure qualité; et la preuve, c'est que la compagnie du Great-Northern consent à payer les rails £ 8 la tonne, tandis que le prix courant en Angleterre varie entre £ 6 et £ 6.10. Seulement, au Great-Northern, on impose au fournisseur, non pas une garantie de deux ou trois ans, mais une garantie de six ans; et M. Dallot tient de la bouche même de l'ingénieur de la voie qu'il allait porter cette garantie à huit années, tant il se trouvait bien d'un pareil système. Il faut ajouter toutefois que la garantie ne consiste pas à poser un certain nombre de rails sur la portion de voie la plus fatiguée du réseau, et à réduire le montant du prix de la fourniture proportionnellement à la fraction du lot d'essai qui ne résiste pas pendant le temps fixé. On ne trouverait pas en Angleterre une seule usine qui acceptât une condition aussi aléatoire. L'obligation est uniquement de remplacer les rails mis hors de service, pour toute autre cause qu'un accident constaté, avant l'expiration du délai de garantie; et l'on peut affirmer sans crainte que six ans de cette simple garantie donnent aux compagnies une sécurité suffisante.

M. Petiet oppose à l'observation précédente sur les essieux coudés en fer les résultats obtenus au chemin de fer du Nord, et qui ont été communiqués précédemment à la Société; il a été établi que, depuis quelques années, les essieux coudés en service à cette compagnie ont résisté aux plus longs parcours; ceux qu'on livre aujourd'hui sont garantis pour 150,000 kilomètres. M. Petiet considère le mode actuel de fabrication comme un progrès; en agissant avec de forts marteaux sur une grande masse de métal, on soude d'abord les mises, ce qui est essentiel; on termine ensuite la pièce à une température plus basse, de manière à obtenir le résultat désiré quant à la texture du fer.

M. Goschler rappelle qu'on a laissé, à une certaine époque, les constructeurs libres de fabriquer les essieux coudés comme ils l'entendaient; on a employé alors un procédé dans lequel l'essieu était contourné pour former les manivelles, au lieu de prendre celles-ci dans la masse; cette observation pourrait peut-être expliquer la différence des résultats indiqués par M. Dallot et de ceux obtenus au chemin de fer du Nord.

M. Dallot déclare que la décroissance dans le parcours des essieux coudés d'une compagnie française, qu'il regrette de ne pouvoir désigner en ce moment, n'est pas un fait particulier et accidentel, mais s'est manifestée d'une façon progressive et non interrompue à mesure que les appareils de forgeage sont devenus plus puissants, et cela pour des essieux sortis des mêmes usines, placés sous la même classe de machines. M. Dallot s'engage à faire tous ses efforts pour que la statistique dont il a cité les résultats soit communiquée à la Société.

M. Petiet fait remarquer que l'acier, qui n'est autre chose que du fer de très-bonne qualité, donne des résultats satisfaisants, quoiqu'il soit traité à l'aide de moyens de fabrication critiqués.

M. Dallot répond qu'il n'est pas tout à fait d'accord avec M. le président sur ce terrain; ainsi il n'admet pas le moins du monde que le fer et l'acier soient la même chose. L'énormité des pièces dont on ne peut plus se passer, en rendant inefficaces pour le fer les procédés de forgeage les plus puissants et les plus perfectionnés, fait de l'em-

ploi de l'acier une nécessité, parce que ce dernier métal jouit, avec la texture qu'il prend spontanément, de toutes les propriétés des meilleurs fers : la ténacité, la dureté, l'élasticité; et cela à un degré extraordinairement exalté.

Séance du 4 Décembre 1863.

Présidence de M. le Général Morin.

M. Tresca demande la parole sur le procès-verbal dans lequel les observations présentées à la dernière séance par M. Dallot lui ont paru très-amplifiées.

Il croit convenable que les membres de la Société qui ont parlé dans une séance aient la faculté de revoir le procès-verbal en ce qui les concerne; mais simplement à titre de rectification, en conservant aux observations qu'ils ont présentées leur sens et leur étendue relative.

M. Tresca ne s'oppose pas, du reste, à l'adoption du procès-verbal.

Plusieurs membres appuient l'observation de M. Tresca.

La parole est donnée à M. Geoffroy pour la lecture de la communication de MM. Nozo et Geoffroy sur le tirage artificiel des cheminées des locomotives.

Les faits principaux qui ressortent de toutes les expériences qui sont rapportées dans cette communication, et qui paraissent devoir s'appliquer plus directement aux locomotives, sont les suivants :

1° Une cheminée de section quelconque, essayée avec une section de passage, une section d'échappement et une pression de vapeur données, doit avoir, pour produire son maximum d'effet, une longueur égale à huit fois le diamètre environ; une plus grande longueur n'a plus qu'une faible influence.

L'embase conique, placée à la partie inférieure de la cheminée, paraît sans influence sensible sur le tirage.

Une cheminée de longueur convenable peut pénétrer dans l'intérieur de la boîte à fumée jusqu'au plan supérieur de l'arrivée d'air, en supposant que l'échappement descende en même temps que la cheminée, sans que le tirage en soit influencé.

Mais, passé cette limite, si on descend la cheminée jusque dans le courant d'arrivée de fumée, le tirage diminue sensiblement.

2° Lorsque la cheminée a une longueur suffisante, c'est-à-dire au moins huit fois son diamètre, la distance de l'échappement à l'entrée de la cheminée est sans influence sensible, lorsque cette distance ne dépasse pas une fois et demie environ le diamètre de la cheminée. Au delà de cette limite, le tirage diminue très-rapidement.

La pénétration de l'échappement dans la cheminée ne paraît pas avoir une influence très-sensible, en tant que l'on conserve à la cheminée la longueur convenable mesurée depuis l'orifice d'échappement.

3° Pour une combinaison donnée de section de passage, de section d'échappement et de vitesse de sortie de vapeur, il y a une section de cheminée qui fait produire à cette combinaison le maximum d'appel, la cheminée étant supposée avoir une longueur d'au moins huit fois son diamètre.

De plus, avec une *même section de passage* ou un même obstacle, si la section de l'échappement ne varie que du simple au double, quelle que soit la vitesse de sortie

de la vapeur, on peut dire que c'est toujours la même cheminée qui, pour chaque cas, fera produire le maximum d'appel.

4° Une cheminée ordinaire, de section donnée, et un échappement, de section aussi donnée, peuvent être remplacés, jusqu'à un certain point, par une cheminée multiple et un échappement multiple, de sections équivalentes; la cheminée ordinaire étant supposée avoir une longueur égale à huit fois le diamètre pour produire son maximum d'effet, et la cheminée multiple une longueur égale seulement à huit fois le diamètre des cheminées partielles. Pour une même pression de vapeur, les deux cheminées appelleront sensiblement des quantités d'air égales à travers un obstacle donné.

M. Tresca dit que le travail présenté par MM. Nozo et Geoffroy est d'autant plus intéressant qu'il traite une question sur laquelle on n'avait jusqu'alors aucune donnée sérieuse.

Mais, en dehors des conclusions pratiques déduites par ces Messieurs des nombreuses expériences dont ils viennent de rendre compte, il doit être possible de tirer des indications théoriques.

Le jet de vapeur produit sur l'air dans la cheminée un effet analogue à celui qu'il produit sur l'eau dans l'injecteur Giffard : il communique à l'air des vitesses différentes selon qu'on fait varier les conditions de l'expérience, et les observations consignées dans le Mémoire de MM. Nozo et Geoffroy doivent fournir des données qui permettent de mesurer l'effet utile de la force vive de la vapeur dans les différentes circonstances de cette sorte de soufflerie.

M. Geoffroy dit que la dépression la plus grande a lieu dans la cheminée immédiatement au-dessous du jet; elle décroît à mesure qu'on s'élève, et devient sensiblement égale à la pression atmosphérique à l'orifice de sortie.

Un Membre demande si on mesure les températures de la vapeur à son entrée et à sa sortie dans la cheminée; il pense qu'on pourrait déduire le travail qu'elle a produit de la quantité de chaleur qu'elle a perdue.

M. Goschler fait remarquer qu'elle ne perd pas de chaleur, qu'elle doit au contraire en acquérir, puisqu'elle aspire des gaz très-chauds.

Séance du 18 Décembre 1868.

Présidence de M. le Général Morin.

Il est donné communication d'une circulaire de la Société des ingénieurs autrichiens relative à des prix que cette Société propose :

« § 1. — On demande, pour servir dans la pratique aux architectes et aux ingénieurs, un Mémoire descriptif sur les *constructions les plus usuelles de toitures en bois et en fer*, accompagné de dessins à l'appui.

« Les détails suivants indiquent d'une manière plus précise les principales conditions à remplir :

« 1° La construction des toitures, suivant la nature des bâtiments et les écartements divers, doit être divisée en groupes ou systèmes, au choix de la personne qui a

l'intention de concourir pour le prix; chacun de ces groupes ou systèmes devant donner lieu ensuite à des descriptions détaillées, expliquées par des dessins, qui seront tous à une même échelle assez grande pour obtenir toute la clarté désirable.

« Pour rendre le travail aussi complet que possible, il ne faut pas oublier de mentionner les différences de construction qui doivent résulter dans chaque groupe du choix des matériaux de couverture, et il ne faut passer sous silence aucune des constructions de toitures dans lesquelles la tôle ne joue pas seulement le rôle de matière couvrante, mais aussi celui de matières de support, comme par exemple dans les toitures de Winiwarter;

« 2° Pour le calcul des parties principales de chaque groupe de construction, il faut produire les règles établies d'après les calculs de la science, et indiquer la portée de la résistance de toute la construction sous les différentes charges accidentelles qui peuvent se présenter;

« 3° Afin de pouvoir, pour des cas donnés, choisir le système le plus avantageux parmi des hypothèses semblables, on devra calculer et comparer entre elles les dépenses de matériaux effectuées pour quelques constructions importantes, dans la supposition d'une charge accidentelle de 15 quintaux viennois par toise carrée de surface de toiture;

« 4° Les résultats obtenus à la suite des calculs qu'on se sera proposés et des comparaisons que l'on aura faites, devront être réunis dans des tableaux synoptiques bien dressés, de telle sorte que le praticien puisse y trouver facilement des points de repère pour l'exécution de constructions de toitures déterminées.

§ 2. — Pour le mémoire qui répondra le mieux à ce programme et sera reconnu comme digne du prix, il sera accordé :

« Un premier prix de 400 thalers de l'Union (400 stück Vereinsthaler[1]);

« Et pour le Mémoire qui suivra le plus près :

« Un second prix de 200 thalers de l'Union (200 stück Vereinsthaler).

« La propriété littéraire des deux Mémoires couronnés reste à leurs auteurs d'une manière incontestable; néanmoins, ceux-ci prennent l'engagement de rendre leur travail public par l'impression au bout de six mois, et de livrer gratuitement vingt exemplaires à la Société des ingénieurs autrichiens. Si les auteurs ne font pas l'impression et la publication dans le temps voulu, la Société des ingénieurs autrichiens se charge de faire cette publication des deux Mémoires de la manière qui lui conviendra.

« Indépendamment des deux Mémoires couronnés, d'autres qui auront été envoyés au concours pourront aussi obtenir des mentions honorables, si la Société des ingénieurs autrichiens croit pouvoir les utiliser pour ses publications périodiques.

« § 3. — Les concurrents devront envoyer leur travail à la Société des ingénieurs autrichiens, à Vienne, avant le 30 septembre 1865, sous enveloppe cachetée, avec devise, signature et adresse.

« § 4. — Le jury sera nommé en temps utile par le Conseil d'administration de la Société des ingénieurs autrichiens, pour prononcer sur le mérite des concurrents, et les prix, sur un rapport du jury, seront proclamés et distribués en février 1866, dans la séance d'assemblée générale de la Société des ingénieurs autrichiens.

« § 5. — Les Mémoires non couronnés seront tenus à la disposition des concur-

1. Le vereinsthaler doit être le double thaler de 7 fr. 50 c.

rents, à partir du mois de mars 1866, au secrétariat de la Société des ingénieurs autrichiens.

« Vienne. — Novembre 1863.

« *Le Conseil d'administration de la Société des Ingénieurs autrichiens.* »

La parole est ensuite donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 19 décembre 1862, de..... 577
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 39
616

A déduire par suite de décès..... 8
— de radiations..... 2
10

Nombre total des Sociétaires au 18 décembre 1863..... 606

Les versements effectués pendant l'année 1863 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc...	16,808 »	
2° Pour la constitution du fonds social inaliénable.....	1,300 »	18,108 »
Il reste à recouvrer en cotisations et amendes.....		6,518 »
Total de ce qui était dû à la Société.....		24,626 »

Au 19 décembre 1862, le solde en caisse était de.....	6,101 35	
Les versements effectués pendant l'année 1863 se sont élevés à.....	18,108 »	24,209 35

Les dépenses de l'année courante se sont élevées à :

1° Pour achat de 20 obligations sur le fonds courant..	5,996 »	
2° Achat de 4 obligations sur le fonds inaliénable.....	1,198 60	
3° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	15,923 30	23,117 90
Il reste en caisse à ce jour.....		1,091 45

dont.....	722 »	pour le service courant,
et.....	369 45	pour le fonds social.
Somme égale.....	1,091 45	1,091 45

La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 207 obligations de chemins de fer ayant coûté.....	62,370 55
Plus sur le fonds courant 20 obligations ayant coûté.....	5,996 »
Total.....	68,366 55

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des comptes du trésorier, ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT adresse au Trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1864.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président.

M. Petiet (Jules).

Vice-Présidents.

MM. Callon (Charles).
Salvetat.
Tresca.
Forquenot.

Secrétaires.

MM. Tronquoy (Camille).
Donnay.
Brüll.
Richoux (Charles).

Trésorier.

M. Loustau (G.).

COMITÉ.

MM. Laurent (Charles).
Goschler.
Nozo.
Alcan.
Arson.
Yvon Villarceau.
Vuigner.
Limet.
Chobrzynski.
Molinos (Léon).
Fourneyron.
Flachat (Eugène).
Love.
Barrault (Alexis).
Alquié.
Péligot (Henri).
Farcot (Joseph).
Mathieu (Henri).
Mathias (Félix).
Vuillemin (Léon).

ÉTUDE SUR LA FONTE MALLÉABLE.

HISTORIQUE, FABRICATION, PROPRIÉTÉS, EMPLOI,

PAR **A. BRÜLL.**

I. — Historique.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE LA FONTE. — La fonte de fer se liquéfie à une température qu'il est facile d'obtenir industriellement. Aussi peut-on lui donner sans grande dépense par le moulage les formes les plus compliquées. Mais les pièces ainsi obtenues sont peu solides; elles ne peuvent résister sans rompre ni à de grands efforts ni à des efforts brusques, et pour peu que les objets soient minces, la fonte blanchit par le refroidissement brusque que causent les parois du moule, et l'on arrive à une extrême fragilité. De plus, en dehors de quelques espèces spéciales, la plupart des fontes sont inattaquables aux outils ou se comportent mal sous leur action, de sorte qu'on ne peut finir convenablement les objets à la lime ou au burin.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU FER FORGÉ. — Le fer convient bien mieux pour tous les objets qui ont besoin de solidité; il est ductile, malléable, il se travaille à la lime et aux outils, et l'on obtient ainsi des surfaces d'une couleur agréable et d'un beau poli. Mais tous les efforts faits jusqu'à ce jour pour couler le fer doux en menus articles n'ayant pas abouti industriellement, il faut obtenir la forme par le forgeage ou par l'ajustage. Si cette forme est compliquée, s'il s'agit d'un objet de faible poids, on arrive bien vite à un prix de revient fort élevé au kilogramme.

BUT DE LA FONTE MALLÉABLE. — Il était donc intéressant de chercher à donner aux moulages en fonte les propriétés du fer forgé. Ce problème paraît avoir été résolu depuis fort longtemps et à diverses reprises.

INVENTION DE RÉAUMUR. — Réaumur publia en 1722, à la suite de ses intéressantes recherches sur l'art de convertir le fer forgé en acier, six mémoires successifs qu'il avait lus à l'Académie et dont l'ensemble à pour titre : « l'art d'adoucir le fer fondu et de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que ceux de fer forgé. »

Dans le premier de ces mémoires, Réaumur définit ainsi le problème :

« C'est de faire en sorte que cette fonte coulée en moules, que les ou-
« vrages de fer fondu se laissent travailler, ciseler, réparer, etc. En un mot,
« il s'agit de rendre la fonte blanche, traitable ; il s'agit de lui ôter de sa
« dureté, de sa roideur, il s'agit de l'adoucir. L'art de faire des ouvrages fi-
« nis de fer fondu n'est donc précisément que l'art d'adoucir le fer fondu. »

Recherchant ensuite dans la tradition ce qui avait été fait en ce sens, il dit un peu plus loin :

« Si on s'en rapporte à la tradition des ouvriers, c'est un secret qui a
« été perdu et trouvé plusieurs fois. Tout ce que nous voyons de grand
« et de surprenant en fer, comme sont les serrures des portes de Notre-
« Dame, ils veulent que ce soient des ouvrages de fer fondu. Ce qui est
« de plus certain et d'assez récent, c'est qu'un particulier a eu en France
« quelque chose de fort approchant du véritable secret d'adoucir le fer
« fondu qui a été jeté en moules. Il entreprit même d'en faire des éta-
« blissements à Cône et à Paris dans le faubourg Saint-Marceau, il y a
« vingt ans ou environ. »

Mais le secret de cette fabrication était perdu, et Réaumur expose en grand détail dans le troisième mémoire la suite des essais qu'il tenta successivement pour obtenir un résultat dont la possibilité seule lui était connue.

Quelque intéressante que soit la lecture de ce mémoire où l'on trouve à chaque pas le jugement le plus sûr et l'intelligence la plus perspicace aux prises avec le manque absolu de toute notion exacte de chimie, nous nous contenterons de dire qu'après avoir chauffé la fonte dans des creusets fermés, remplis de toutes sortes de matières, il s'arrêta à un mélange de craie ou de chaux d'os avec du charbon.

Le cinquième mémoire est consacré à la description détaillée des appareils à employer, et des procédés à suivre pour adoucir la fonte. Ils ressemblent, en principe, à ceux usités aujourd'hui et que nous décrirons plus loin.

Le dernier mémoire de Réaumur énumère les avantages que le nouvel art pourra procurer. C'est surtout la serrurerie qui serait appelée à profiter de l'invention : les clefs, les serrures, les balcons, grilles, rampes, les ouvrages ciselés s'obtiendront à bien meilleur marché. L'éperonnerie et l'arquebuserie pourront aussi en tirer un utile parti ; on fera en fer fondu adouci les casseroles, les poêles et les marmites.

L'invention de Réaumur, accueillie d'abord avec empressement, réussit-elle à passer dans la pratique, ou bien ses travaux restèrent-ils à l'état de simples recherches scientifiques, c'est ce que nous ne saurions dire. Toujours est-il que le problème fut diverses fois encore repris à nouveau, et qu'on représente actuellement en France l'adoucissement de la fonte comme un procédé qui nous serait venu d'Angleterre, il y a une trentaine d'années.

PATENTE DE SAMUEL LUCAS. — On trouve dans les patentes anglaises une spécification déposée le 26 juin 1804, par un maître de forges de Sheffield, nommé Samuel Lucas. Elle a pour titre : « Méthode pour séparer les impuretés de la fonte crue ou de seconde fusion sans la fondre et la rendre malléable et propre aux divers usages auxquels on applique aujourd'hui le fer fondu et laminé, et aussi pour améliorer de la même façon les objets fabriqués en fonte et rendre par là la fonte crue ou de seconde fusion applicable à une variété d'usages nouveaux et utiles.

II. — Fabrication.

PATENTE DE SAMUEL LUCAS. — Nous aurons indiqué les procédés suivis encore aujourd'hui pour la fabrication de la fonte malléable en donnant ici la spécification de Samuel Lucas; en voici une traduction littérale :

La gueuse ou la fonte ayant été d'abord obtenue ou coulée à la forme la plus convenable pour les buts auxquels elle est ensuite destinée, doit être mise dans un four à cémenter ou dans tout autre fourneau approprié, mélangée à une quantité convenable de mine de fer, de fer oxydé, de certains oxydes métalliques, de chaux ou d'une combinaison de ces éléments, préalablement réduite en poudre ou en petits fragments, soit à quelques autres substances capables d'absorber le carbone de la fonte crue ou de se combiner avec lui. On applique alors la chaleur à un degré assez intense pour effectuer l'union du carbone de la fonte avec la substance employée, et on en continue l'action pendant tout le temps qui sera jugé nécessaire pour rendre la fonte, soit partiellement, soit complétement malléable, suivant la destination des objets. Si l'on a le désir de rendre le fer fondu parfaitement malléable, il sera nécessaire d'employer de la moitié aux deux tiers de son poids de mine de fer, de fer oxydé ou autres substances. Si l'on se contente d'une action partielle, une bien plus faible proportion suffira. Cinq ou six jours et autant de nuits seront en général suffisants; à la fin de l'opération, la chaleur ne saurait être trop forte. Il faudra prendre soin que les pièces en fonte n'aient pas une trop grande épaisseur, parce que cela aurait pour effet d'augmenter la durée du traitement; mais la proportion des diverses substances employées, l'intensité de la chaleur et le temps pendant lequel on l'applique, dépendent nécessairement beaucoup non-seulement de la nature de ces substances, mais aussi de la nature et de la qualité de la gueuse ou de la fonte employée; la connaissance de ces divers points ne peut s'acquérir que par expérience. La fonte qu'il s'agit de rendre malléable et les substances à employer dans ce but peuvent être placées dans le four en couches alternées; et pour empêcher l'adhérence de la mine de fer ou du fer oxydé, on peut interposer une mince couche de sable. Pour l'amélioration des articles manufacturés en fonte, les mêmes procédés peuvent être suivis, excepté

que, quand les objets sont petits, il suffira d'une moindre proportion de substances pour produire la malléabilité; l'opération peut alors être abrégée et le degré de chaleur diminué.

Tels sont les procédés suivis généralement encore aujourd'hui, pour fabriquer la fonte malléable. Nous ne pouvons ajouter que fort peu de détails à la spécification ci-dessus, car la situation particulière de cette industrie, restée entre les mains d'un assez petit nombre de personnes, nous oblige à la discrétion.

Moulage et nature de la fonte employée. — Les pièces sont moulées en sable vert ou en sable d'étuve à la façon ordinaire. La fonte employée est la fonte au bois d'Ulverstone, en Écosse. C'est une fonte souvent blanche, lamelleuse ou légèrement truitée, quelquefois grise. Elle provient d'hématite rouge (*red ore*) et paraît être à propension aciéreuse. On emploie les gueusets les plus blancs pour les plus grosses pièces; les plus gris conviennent aux plus petites. On refond aussi les jets et les pièces manquées qui sont toujours absolument blanches.

Fusion. — La fonte est fondue dans des creusets d'une contenance d'environ 30 kilog. chauffés au coke. Les fours de fusion sont ceux employés dans les fonderies d'acier. Chaque fonte dure environ d'une heure à une heure et demie. Le métal n'est fusible qu'à une haute température, et il faut surtout la forcer si l'on veut des moulages d'une grande finesse.

Brevet Vorbe et Barré. — MM. Vorbe et Barré se sont fait breveter le 30 décembre 1861 pour mélanger à cette fonte de 2 à 7 p. 100 de cuivre rouge, ce qui lui donne plus de fusibilité, et permet d'obtenir des pièces mieux finies.

Démoulage. — Dès que le métal est solidifié, on s'empresse de desserrer les moules et d'opérer le détachage; malgré cette précaution, bien des pièces dont la forme présente des parties épaisses reliées à des parties minces sans transition suffisante, se gercent pendant le refroidissement; le retrait paraît être considérable.

Détachage et ébarbage. — Les pièces ainsi obtenues sont en général d'une fragilité extraordinaire; le détachage donne des déchets assez importants; l'ébarbage qui se fait avant le recuit est aisé et rapide, mais chaque coup frappé à faux brise la pièce pour peu qu'elle soit délicate.

Décarburation ou recuit. — Les fours de décarburation sont des chambres rectangulaires s'ouvrant sur l'un de leurs petits côtés par une porte qui sert au chargement et au déchargement. La sole est partagée en bandes longitudinales entre lesquelles sont placées deux ou trois grilles étroites, de toute la longueur du four. Des carneaux de dégagement aboutissent en deux points du plafond. Les pièces sont placées dans des creusets cylindriques en fonte. On les y dispose par couches séparées par de l'hématite rouge broyée en grains. Lorsqu'on a, avec

les précautions nécessaires, rempli le creuset de couches alternées d'oxyde et de pièces de fonte, on empile les creusets sur la sole jusqu'à la voûte du fourneau en lutant avec de la terre à four les joints de deux creusets superposés et bouchant avec soin les fentes que le service a pu amener dans la fonte. Lorsque le four est ainsi rempli de piles convenablement étayées par quelques briques, on en ferme l'ouverture avec une muraille de briques qu'on lute soigneusement. Tout accès d'air sur les pièces doit être évité. On allume alors le feu sur les grilles, on monte lentement la température qui atteint au bout de 24 heures le rouge vif. On entretient le feu pendant trois, quatre ou cinq fois 24 heures suivant la grosseur des pièces et suivant le degré de recuit qu'on veut obtenir. Au bout de ce temps, on laisse baisser le feu et la température descend pendant 24 heures. On peut alors ouvrir et décharger le fourneau.

Difficultés du recuit. — Le recuit est une opération délicate. S'il entre de l'air, si la température s'élève trop, si le minerai neuf n'est pas mélangé d'une assez forte proportion de minerai ayant déjà servi, les pièces sont brûlées; il se soulève une pellicule oxydée, et la qualité est mauvaise. Si la température n'a pas été égale et suffisamment élevée, le recuit est imparfait, les pièces sont cassantes. Il se produit aussi quelquefois une adhérence du minerai à la pièce qui altère la propreté des surfaces. Enfin, mais cela est un inconvénient moins sérieux, si les pièces n'ont pas été convenablement disposées dans les creusets, elles se courbent et se déforment sous la charge.

Double recuit. — Certaines pièces de fortes dimensions ou qui doivent être percées suivant leur axe, sont recuites deux fois; la seconde opération se fait comme la première.

Roulage. — Après le recuit les pièces sont quelquefois roulées dans des barils tournants avec du sable, pour les nettoyer du minerai et du sable de moulage qui s'y trouve plus ou moins attaché; elles sont ensuite prêtes à livrer.

III. — Propriétés.

La fonte malléable ainsi obtenue est, comme on le pense bien, un métal très-analogue au fer de bonne qualité; nous indiquerons ici celles de ses propriétés qui la différencient du fer.

Densité. — La densité de la fonte malléable est loin d'être égale à celle du fer; elle paraît se rapprocher beaucoup de celle de la fonte. Trois morceaux pris au hasard nous ont donné pour poids spécifique approximatif 7,10, 7,25, 7,35.

Couleur de la fonte brute. — La couleur de la fonte malléable varie suivant les circonstances du recuit. Elle est, quand elle vient d'être fa-

briquée, d'un gris bien moins noir que le fer dont elle se distingue aisément. Elle ressemble davantage à la fonte dont la couleur est elle-même assez variable; on arrive cependant avec l'exercice à ne pas s'y tromper.

Aspect de la cassure. — La cassure des petites pièces est généralement à grains fins blancs et brillants peu arrachée, quelquefois elle est grise, fine, à tendance de nerf, et de l'aspect soyeux propre aux aciers très-doux. Pour peu, d'ailleurs, que la pièce ait plus de 8 à 10 millimètres d'épaisseur, la cassure n'est plus homogène, la partie extérieure est plus blanche, l'intérieur indique une fonte grise très-douce, la séparation est tranchée et il y a quelquefois aussi plusieurs zones qui paraissent correspondre à des périodes de l'opération du recuit.

Couleur de la fonte travaillée. — A la lime et sous l'action des outils, la fonte malléable prend une teinte blanche qui n'a pas peut-être le reflet légèrement bleuâtre de celle du fer travaillé, qui est aussi un peu plus mate, mais qui cependant ne s'en distingue pas aisément.

Poli. — Elle se polit parfaitement, soit à l'émeri, soit au rouge, et l'on obtient avec facilité un brillant plus beau que celui du fer, et qui ne le cède en rien à celui de l'acier. Ce poli est un peu sensible à l'humidité.

Dureté. — La fonte malléable n'a pas une grande dureté. Les outils l'entament aisément, elle s'use assez vite par le frottement, comme on peut le reconnaître en examinant le panneton des clefs de serrure, qui sont presque toutes faites avec cette matière.

Porosité. — La fonte malléable est très-poreuse comme son mode de fabrication devait le faire supposer. De l'huile placée dans un pot en fonte malléable suinte après quelques jours sur toute sa surface. Nous indiquerons cependant, plus loin, quelques applications qui semblent prouver qu'avec une épaisseur convenable, les effets de cette porosité ne sont pas trop à craindre.

Sonorité. — La fonte d'Ulverstone est très-sonore et convenablement traitée, elle sert à faire des timbres, des sonnettes et des cloches, qui reviennent bien meilleur marché que celles que l'on fait en acier, tout en présentant les mêmes qualités. Le recuit diminue la sonorité et change aussi le timbre; cependant la fonte malléable est plus sonore que le fer, et on peut distinguer deux objets de même forme en fer et en fonte, en les faisant résonner l'un après l'autre.

Constitution intérieure. — Lorsqu'on lime à la lime douce une section faite dans un barreau de fonte malléable d'une épaisseur suffisante, on la trouve généralement composée de deux parties de nuances très-distinctes. Ces deux régions ne sont pas réunies par des teintes graduées, mais bien séparées par une ligne nettement accusée. La partie extérieure n'a guère, en général, que 3 ou 4 millimètres d'épaisseur. Cette apparence semblerait indiquer que la zone extérieure a seule subi l'action

décarburante et que le noyau est resté inaltéré, et cependant on reconnaît que, tandis que la fonte avant le recuit était tout à fait réfractaire aux outils, le métal du centre se laisse aisément percer et limer; il y a donc eu modification. Il est probable que, tandis que l'extérieur seul est transformé en fer par l'oxyde environnant, la masse entière subit la modification de fonte blanche en fonte grise et douce que produit le seul recuit.

Action des outils. — Si l'on travaille le barreau sur le tour ou sur la machine à raboter, on reconnaît cette constitution de la manière la plus nette; à l'extérieur, les copeaux sont longs et résistants, ils s'enroulent sans se briser; ce sont des copeaux de fer doux; à mesure que les passes pénètrent dans la profondeur, l'aspect des copeaux se modifie; ils deviennent moins longs et plus cassants. Pour peu que le barreau soit un peu gros, le centre ne donne plus que de très-petits copeaux secs et friables, ressemblant presque à de la limaille. Ce sont des copeaux de fonte, mais de fonte douce encore assez facile à travailler. Ce n'est que dans le cas des épaisseurs très-fortes au delà de 10 centimètres que le cœur est resté tout à fait inattaquable aux outils.

Malléabilité.— La fonte malléable, surtout en petites dimensions, se laisse aisément tordre ou plier sous un angle fort aigu sans montrer de gerçure; mais si le morceau est gros, on entend à un moment donné de l'épreuve un craquement qui indique que l'âme en fonte s'est cassée, tandis que l'enveloppe en fer continue à bien résister. Le même fait se présente quelquefois dans les épreuves à la traction.

Le martelage à froid, toujours sur petites pièces, donne aussi des résultats intéressants. L'étirage est facile et peut être poussé presque aussi loin qu'avec le bon fer. Le grain se resserre et devient fin comme celui de l'acier doux.

Estampage, laminage. — La fonte malléable se laisse estamper et laminer à froid; on en fait des couverts de table dont la surface est durcie nette et brillante.

Forgeage. — Le forgeage de la fonte malléable se fait à basse température; elle se laisse alors travailler très-convenablement. On peut l'étirer, la plier, la percer et mandriner des trous, refouler des têtes, etc; cependant, un forgeage prolongé paraît énerver le métal, qui se casse alors aisément sous le marteau; le martelage donne une grande finesse au grain. A une température plus élevée, au rouge vif, ou au blanc naissant, elle se brise en morceaux, et si l'on chauffe au blanc une pièce un peu grosse, le centre fuse, s'échappe en étincelles sous le choc et le morceau s'écrase.

Soudage. — On ne peut donc, dans ces conditions, songer à un soudage. Les barres de petit calibre peuvent, il est vrai, s'encoller à peu près bien; quelques ouvriers exercés peuvent même, dit-on, les souder; mais l'on peut dire, d'une façon générale, que la fonte malléable ne peut

ni se souder à elle-même, ni se souder sur le fer ou sur l'acier. Cette lacune fâcheuse dans les qualités du métal qui nous occupe lui retire bon nombre d'utiles applications.

Brasure. — La brasure au cuivre réussit très-bien, soit entre deux morceaux de fonte malléable, soit entre la fonte malléable et le fer ou l'acier.

Fusibilité. — La fonte malléable ne se fond qu'à une température fort élevée; aussi remarque-t-on dans les fabriques que pour peu que l'on ajoute dans le creuset, même une faible proportion de dechets décarburés, la fonte devient pénible et demande un tirage plus énergique.

Résistance au feu. — La fonte malléable résiste bien au feu; elle se comporte mieux que la fonte, aussi bien que le fer. On en fait des poches de fonderie, des creusets pour les métaux précieux, des tubulures de chaudières système Belleville.

Cémentation. —Les pièces en fonte malléable qui ont besoin de dureté sont trempées au paquet de la façon usitée pour le fer; on les cémente avec les mêmes produits. La cémentation pénètre plus vite et plus profondément que dans le fer forgé. En douze heures, on cémente à cœur une pièce de 30 millimètres d'épaisseur. On sait que cette opération produit souvent sur les pièces en fer des ampoules, des soulèvements d'écailles ou des déformations fâcheuses; ces accidents ne se présentent que rarement avec la fonte malléable. La trempe au prussiate réussit aussi très-bien et pénètre assez profondément.

La trempe en paquets donne à la fonte malléable un grain aciéreux, auquel on se méprendrait aisément. On obtient une grande dureté, mais aussi un peu de fragilité. Il faut ménager avec soin la durée de l'opération, n'y exposer que les parties qui ont besoin d'être durcies en préservant le reste de la surface avec de la terre réfractaire, et éviter une trempe trop vive.

Élasticité. Résistance. Expériences de MM. Morin et Tresca. — MM. Morin et Tresca ont fait, au Conservatoire des arts et métiers, une série d'expériences pour étudier les propriétés résistantes de la fonte malléable; on en trouvera la relation complète dans les Annales du Conservatoire; cette étude paraît être la seule qui ait été publiée sur ce sujet. Nous en résumerons en peu de mots les résultats.

Prevoyant bien qu'à cause du mode de fabrication, les propriétés du métal seraient toutes différentes suivant la grosseur des pièces, M. Tresca fit fondre quatre barreaux carrés de 60 à 80 centimètres de long, et ayant à fort peu près 1, 2, 3 et 4 centimètres de côté. Il essaya à la flexion d'abord les trois premières barres, puis un échantillon débité dans la quatrième en enlevant les deux croûtes opposées à la mâchine à raboter, puis un barreau pris dans la croûte même et un autre dans l'âme.

Coefficient d'élasticité. — Les coefficients d'élasticité de ces divers échantillons furent les suivants :

Barreau de 1 centimètre de côté.		18,929,000,000
— 2 —		16,300,000,000
— 3 —		16,011,000,000
Barreau de 4 centimètres de côté.	Échantillon avec une croûte. .	16,579,000,000
	— deux — . .	16,240,000,000
	— central	14,785,000,000

Ces résultats sont frappants; ils montrent nettement la décroissance de l'élasticité à mesure que l'épaisseur augmente, et permettent aussi de juger de la façon dont elle varie dans un barreau épais de la surface au centre. On voit que dans l'échantillon le plus mince le coefficient est aussi élevé que dans les meilleurs fers; de sorte qu'un objet de petite dimension en fonte malléable ne se déforme pas plus sous les mêmes efforts que le même objet construit en fer, du moins dans les limites de l'élasticité du premier de ces métaux. On voit aussi qu'au centre des grosses pièces le métal a le coefficient d'élasticité de la bonne fonte.

Limite d'élasticité. — Le barreau de 1 mètre a de plus fourni dans l'expérience de flexion, pour valeur de la limite d'élasticité, le nombre : 8,731,000 kil.; d'où il faudrait conclure que, sous ce rapport, la fonte malléable, même à petites épaisseurs, serait inférieure au fer. On ne pourrait donc, sans crainte de déformation permanente, faire subir à la fonte malléable des efforts aussi élevés que ceux que supporte le bon fer sans que son élasticité soit forcée.

Résistance a la rupture. — M. Tresca rapporte encore qu'une barre de 5 millimètres de côté et de $0^m,45$ de long a supporté avant de rompre un effort de traction directe de 35 kil. par millimètre carré.

Épreuves a la traction. — Nous avons cherché à ajouter à ces résultats trop peu nombreux d'autres séries de faits. Mais, ne pouvant réaliser d'expériences à la flexion qui seules peuvent donner commodément le coefficient d'élasticité et la limite d'élasticité, nous avons dû nous contenter d'opérer par traction, et de mesurer simplement la résistance avant rupture. Quelques indications sur les allongements ont été aussi relevées, mais avec des moyens de mesurage peu exacts.

Description des expériences. — Les barres essayées ont été fondues dans les ateliers de MM. G.-A. Buziau et Cie et Dalifol, fabricants de fonte malléable à Paris, qui ont bien voulu nous prêter le plus obligeant concours pour l'étude que nous avions entreprise; les échantillons (voir fig. 1, pl. 31) sont de quatre diamètres successifs de 5 à 20 millimètres; leur longueur est d'environ $0^m,250$ d'axe en axe des trous, de sorte qu'en donnant deux coups de pointeau aux naissances de la partie cylindrique,

on pouvait mesurer les allongements d'une longueur d'un peu plus de $0^{m},16$.

Deux séries d'expériences ont été faites dans les ateliers de MM. E. Gouin et Cie et dans ceux de la Compagnie générale des matériels de chemins de fer. Grâce à l'obligeance particulière et aux soins minutieux que les ingénieurs de ces établissements ont apportés à ces essais, nous croyons pouvoir garantir l'exactitude des résultats, sous la réserve déjà indiquée de l'approximation de la mesure des allongements.

PREMIÈRE SÉRIE. — La première série comprend sept barres des diamètres approximatifs de 12, 17, 20 millimètres ; il avait été fondu aussi deux barres de 5 millimètres, mais par suite des difficultés que présente la coulée d'une tige aussi mince et aussi longue, elles présentaient des défauts qui en ont rendu l'essai impossible.

Les trois tableaux suivants donnent les résultats de cette première série d'expériences : on y a indiqué sous le titre de longueur la distance des deux coups de pointeau; quant à la section, comme on n'a pas voulu rectifier à la lime ou au tour la forme un peu irrégulière obtenue à la coulée, on a mesuré avec soin les épaisseurs dans deux directions rectangulaires, en haut, au milieu et en bas de la tige, et, après avoir calculé les trois surfaces comme des ellipses, on a choisi la plus petite comme section résistante.

Diamètre approximatif 12^{mm}.

LONGUEUR 160^{mm}. SECTION 128^{mmq}.		LONGUEUR 160^{mm}. SECTION 116^{mmq}.	
Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
kil.	mm.	kil.	mm.
2000	0,5	1000	0,1
2500	1	1500	0,2
3000	2	2000	0,2
3200	2,25	2500	0,75
3400	2,50	3000	1
3600	2,75	3200	1,25
3800	3	3400	1,5
4000	3,25	3600	2
4120	Rupture.	3800	2,5
		4000	3
		4200	Rupture.
La cassure ne présente pas de défaut.		La cassure ne présente pas de défaut.	

Diamètre approximatif 17mm.

Longueur 160mm. Section 240mmq.		Longueur 165mm. Section 237mmq.		Longueur 165mm. Section 234mmq.	
Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
kil.	mm.	kil.	mm.	kil.	mm.
5500	0	3500	0	2000	0
6000	0,5	4000	0,1	3000	0
6500	1	4500	0,1	4000	0,1
7000	1,25	5000	0,1	4500	0,1
7500	1,5	5500	2	5000	0,5
7580	Rupture.	6000	2	5500	1
		6500	Rupture.	5900	Rupture.
La section présente des défauts de coulée.		La section présente une soufflure.		La cassure présente une soufflure et des défauts de coulée.	

Diamètre approximatif 20mm.

Longueur 161mm,5. Section 310mmq.		Longueur 160mm. Section 326mmq.	
Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
kil.	mm.	kil.	mm.
6000	0	6000	0
6500	0	6500	0
7000	0	7000	0,25
7500	0	7500	0,25
8000	0,5	8000	0,25
8090	Rupture.	8500	0,5
		9000	0,5
		9500	Rupture.
La cassure présente une soufflure importante.		La charge de 9000 kil. a été appliquée pendant 15 minutes sans accroissement d'allongement. La cassure présente un défaut.	

Résumé de la première série. — En divisant la charge de rupture par la section, on a obtenu la résistance par millimètre carré.

Les allongements ayant été mesurés sous les charges successives jusqu'à l'avant-dernière, on peut en déduire une limite inférieure de l'allongement avant rupture.

C'est en calculant d'après ces indications qu'on a formé le tableau ci-dessous, qui donne le résumé des expériences de la première série.

DIAMÈTRE APPROXIMATIF.	12mm.	17mm.	20mm.	MOYENNES.
Charge de rupture par millim. quarré...	k. k. 31.5 — 36.0	k. k. k. 31,5 — 27.3 — 25.6	k. k. 26,0 — 29.1	
Moyennes.....	33k,75	28k,1	27k,55	29k,8
Limite inférieure de l'allongement avant rupture en millièmes de la longueur primitive...	20 — 19	9 — 12 — 6	3 — 3	
Moyennes.....	19k,5	9	3	10k,5
Observations.....	Cassures sans défauts.	Cassures présentant des défauts.	Cassures présentant des défauts.	»

SECONDE SÉRIE. — Une seconde série d'expériences a été entreprise sur douze échantillons fondus sur les mêmes modèles. Il y avait pour chaque diamètre trois barreaux dont l'un en fonte non recuite. Les essais ont été exécutés de la même manière que les précédents; les quatre tableaux ci-dessous donnent les résultats des épreuves.

Diamètre approximatif 5mm.

FONTE NON RECUITE.	FONTE RECUITE.			
SECTION 19mmq.	LONGUEUR 193mm. SECTION 19mmq,5.		LONGUEUR 193mm. SECTION 19mmq.	
Charge de rupture.	Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements
Cet échantillon a été cassé par accident.	585k	3mm Rupture.	595k	3mm,5 Rupture.
Pas de défaut.	Un léger défaut au centre.		Pas de défaut.	

Diamètre approximatif 12mm.

FONTE NON RECUITE.	FONTE RECUITE.			
SECTION 117mmq.	LONGUEUR 159mm. SECTION 122mmq.		LONGUEUR 150mm. SECTION 117mmq.	
Charge de rupture.	Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
1650k	3000k 3960	1mm,0 Rupture.	3720k	Rupture.
Pas de défaut.	Pas de défaut.		Pas de défaut.	

Diamètre approximatif 17^{mm}.

FONTE NON RECUITE.	FONTE RECUITE.			
Section 227^{mmq}.	Longueur 150^{mm}. Section 227^{mmq}.		Longueur 150^{mm}. Section 227^{mmq}.	
Charge de rupture.	Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
3200^{k}	4000^{k} 5000 6000 7000 7980	0^{mm},75 1 1 ,50 2 Rupture.	4000^{k} 5000 6000 7000	0^{mm},1 0 ,25 1 Rupture.
Pas de défaut.	Pas de défaut.		La cassure présente une petite goutte froide.	

Diamètre approximatif 20^{mm}.

FONTE NON RECUITE.	FONTE RECUITE.			
Section 330^{mmq}.	Longueur 550^{mm}. Section 324^{mmq}.		Longueur 150^{mm}. Section 330^{mmq}.	
Charge de rupture.	Charges.	Allongements.	Charges.	Allongements.
5450^{k}	5200^{k} 8200 9200 10200 10980	0^{mm},25 0 ,5 1 2 Rupture.	6200^{k} 7200 8200 9200 10200 12020	0^{mm},1 0 ,25 1 1 ,5 2 Rupture.
La rupture a eu lieu à l'œil du boulon supérieur sur une section plus que double de celle de la tige.	Pas de défaut.		Pas de défaut.	

Résumé de la seconde série. — De ces quatre tableaux on déduit,

comme ci-dessus, le tableau suivant qui résume les résultats de la seconde série d'expériences.

Diamètre approximatif.		5mm.	12mm.	17mm.	20mm.	Moyennes.
Charge de rupture par mil. quarré	Fonte non recuite..	»	14k,0	14k,1	»	14k,5
	Fonte recuite...	30k 31 ,3	32 ,5 31 ,8	35 ,1 30 ,8	33k,3 36 ,4	32 ,6
Limite inférieure de l'allongement avant rupture de la fonte recuite en millièmes de la longueur primitive.		15 18	6 »	12 6	12 12	11 ,5
Observations.....		Un défaut sur l'une des deux pièces.	Pas de défaut.	Un défaut sur l'une des deux pièces.	Pas de défaut.	»

Conclusions des expériences a la traction. — De la première série d'expériences on serait tenté de conclure que plus le diamètre augmente, et plus sont faibles la résistance à la rupture et l'allongement limite. Mais si l'on fait attention que les petits échantillons n'avaient pas de défauts, tandis que les gros en avaient tous, on rapportera plutôt les différences observées à ces imperfections de fabrication, dont l'influence est certainement considérable, qu'à la croissance du diamètre dans les limites étroites que permettait le genre d'essai adopté. (La machine à levier ne pouvait casser que jusqu'au diamètre de 20 millimètres.)

La seconde série détruirait d'ailleurs les déductions qu'on voudrait tirer dans ce sens.

Contentons-nous donc de conclure :

Que, pour les épaisseurs de 5 à 20 millimètres, la fonte non recuite a une résistance de 14 kil. environ; la fonte malléable une résistance moyenne d'à peu près 32k,5 (de 25,6 à 36,4), avec un allongement proportionnel d'environ 10 à 12 millièmes (de 3 à 20);

Que dans ces mêmes limites de diamètre, la variation de l'épaisseur n'a que peu d'influence sur la solidité;

Que la fonte malléable, comme tous les corps obtenus par fusion, pré-

sente assez fréquemment des défauts de diverses natures qui produisent des écarts notables dans la résistance.

Limite d'élasticité. — Ajoutons encore que l'on peut tirer des essais qui viennent d'être relatés quelques indications relatives à la limite d'élasticité.

En effet, le coefficient d'élasticité de la fonte malléable étant compris, d'après les expériences de MM. Morin et Tresca, entre 15 et 19 billions, on voit que quand bien même la limite d'élasticité correspondrait à la charge très-faible de $8^k,7$ par millimètre carré, comme cela ressortirait de l'une de leurs expériences, cette hypothèse donnerait encore pour la limite de l'allongement élastique de 0,46 à 0,58 millièmes, soit pour 160 millimètres, longueur de nos échantillons, de $0^{mm},074$ à $0^{mm},093$, ou près de 1/10 de millimètre.

Or, cet allongement est à peu près celui qui commençait à devenir sensible aux moyens de mesurage employés. Il est donc probable qu'en prenant les dernières charges sous lesquelles on n'a observé encore aucun allongement, elles seront voisines de la limite d'élasticité. Ce relevé donne en moyenne plus de 16 kilog. (de 13 à 24). On pourrait donc conclure que la limite d'élasticité de la fonte malléable ne s'abaisserait qu'exceptionnellement aussi bas que la valeur obtenue par M. Tresca.

Résumé des propriétés résistantes. — Ainsi, en résumé, la fonte malléable serait aussi résistante, et aurait un coefficient élastique et une limite d'élasticité aussi élevés que le bon fer, sans atteindre cependant, sous ce rapport, la valeur des qualités de choix; mais elle serait de beaucoup inférieure aux fers même moyens pour la faculté de déformation, et ayant par suite une puissance vive de rupture beaucoup moindre, conviendrait moins bien pour la construction des pièces qui doivent résister sans rompre à des chocs intenses.

Prix de vente et situation de l'industrie. France. — La fonte malléable se vend généralement en France 1 fr. 30 à 2 fr. le kilogramme. Les clefs de serrures et articles aussi courants, d'une fabrication simple, d'un poids assez fort, et qui n'ont pas besoin d'être d'une qualité parfaite, se vendent de 1 fr. 30 à 1 fr. 50. La harnacherie et la bouclerie brutes de fonte, sont un peu plus chères. Les pièces diverses se cotent ensuite d'après la difficulté du moulage, d'après le poids d'une pièce, d'après l'épaisseur et aussi d'après l'emploi, en vue des exigences du recuit, d'après les chances du déchet, enfin d'après la masse à fabriquer et les considérations commerciales d'un ordre général. Leur prix varie ainsi de 1 fr. 50 à 2 fr.; il en est cependant qui coûtent 2 fr. 50 et 3 fr.; ce sont les pièces légères et compliquées, dont le moulage exige des ouvriers spéciaux, et qui présentent beaucoup de chances de rebuts à la fabrication.

Il y a à Paris quatre fabriques de fonte malléable, et il existe en France,

notamment en Normandie et en Picardie, une douzaine de fonderies qui en produisent soit comme objet principal de leur fabrication, soit comme accessoire. Il y a aussi quelques fabricants de quincaillerie qui fondent pour leur propre consommation. On peut évaluer à quatre ou cinq mille kilogrammes la production journalière de ce metal en France.

Angleterre. — En Angleterre, la fonte malléable est fort employée. Il en existe de nombreuses fabriques autour de Birmingham; on en fait aussi à Manchester et à Sheffield; elle se vend beaucoup meilleur marché qu'en France; les prix oscillent en général entre 80 c. et 1 fr. pour les pièces ordinaires. On importe en France beaucoup d'articles courants de serrurerie, de bouclerie et de quincaillerie. Les clous de chaussures sont un exemple assez frappant; ces clous de formes très-variées et souvent assez compliquées (fig. 2, Pl. 31), fabriqués en fer forgé de bonne qualité, ne dépassent guère en général le prix de 1 fr. à 1 fr. 25 le kilog. Malgré ce prix peu élevé et la préférence qu'on pourrait être tenté de donner au fer, il s'importe de l'Angleterre d'assez notables quantités de clous en fonte. Ils sont de forme régulière; leur pointe est toujours un peu arrondie; ils peuvent être pliés et rivés sans se casser; leur tête est quelquefois durcie pour en prolonger la durée.

Concurrence anglaise. — Mais comme, en dehors des articles courants et commerciaux, l'emploi de la fonte malléable est le plus souvent soumis à des questions de commodité et de voisinage, on conçoit que l'importation anglaise n'ait pas été jusqu'ici bien redoutable pour l'industrie similaire en France. On dit d'ailleurs que le produit anglais n'est pas d'aussi bonne qualité que le nôtre.

Allemagne. — On fait aussi de la fonte malléable en Allemagne, en particulier à Stuttgard et en Westphalie, royaume de Würtemberg, et le prix en est plus élevé qu'en France; il est en moyenne, à Stuttgard, de 2 fr. le kilog.

Suisse. — Il y a aussi une fabrique à Schaffhouse; la fonte malléable qu'elle produit peut se souder soit sur elle-même, soit sur le fer et sur l'acier. Ainsi, on y fait des ciseaux dont le corps est en fonte malléable, et dont les lames sont rechargées d'une mise d'acier. Le prix moyen à Schaffhouse est de 2 fr. 40 le kilog.

Belgique. — En Belgique, c'est à Liége qu'est le centre de la production de fonte malléable; l'arquebuserie et la quincaillerie en consomment de fortes quantités, et le prix n'est que peu supérieur à celui de la fonte anglaise.

Espagne. — En Espagne, dans le Guipuscoa, où il se fabrique beaucoup d'armes et de serrurerie, il s'est établi récemment une fonderie de fonte malléable. Les prix sont supérieurs aux prix français.

Amérique. — On fait aussi beaucoup de fonte malléable en Amérique,

et l'*American Railway Review* rapporte même qu'un professeur nommé Eaton, à Élisabeth-Port, a imaginé d'employer à la décarburation de l'oxyde de zinc au lieu d'oxyde de fer, ce qui aurait, d'après lui, l'avantage d'opérer plus vite, plus régulièrement, et de donner du zinc métallique comme produit accessoire.

IV. — Emploi.

Limite d'épaisseur. — La première condition que doit réaliser une pièce pour qu'on puisse avantageusement la fabriquer en fonte malléable, c'est d'être suffisamment mince dans toutes ses parties. Cela est vrai, du moins pour les pièces qui, d'après leur usage, ont besoin de quelque solidité; et si la solidité n'était pas nécessaire, la fonte ordinaire suffirait. Quant à la fixation d'une épaisseur maxima, on sent tout ce qu'il y a de délicat, à cause de la grande variété des cas, à poser une pareille limite. Nous dirons cependant, pour fixer les idées, qu'à moins de considérations bien particulières, il sera bon de ne pas dépasser de beaucoup 50 à 60 millimètres.

Il faut observer, d'ailleurs, que la discussion de la question d'épaisseur ne se présentera pas souvent, parce qu'une pièce, qui a dans certaines parties 50 à 60 millimètres de force, présente généralement un poids assez élevé, et qu'alors le forgeage n'augmente pas assez le prix du kilogramme pour qu'il puisse être bien avantageux d'avoir recours à la fonte malléable.

Comparaison avec le fer. Pièces lourdes, mais compliquées. — Cependant, les difficultés du forgeage, l'énorme déchet et la main-d'œuvre laborieuse qu'il laisse après lui dès que les formes sont un peu compliquées, pourraient quelquefois conduire à admettre la fonte malléable.

Citons pour exemple une tête de piston de locomotive. Un ingénieur de chemin de fer avait récemment à se procurer, à titre de rechange, quelques-unes de ces pièces pour des locomotives à marchandises. La fig. 8 montre la forme assez complexe de la pièce finie. En *a* est une douille qui reçoit la tige du piston; cette douille se continue en *b* par un trou plus petit, qui sert à chasser la tige pour le démontage; en *c*, la mortaise dans laquelle se loge la clavette destinée à retenir cette tige; *d* et *d'* sont deux tourillons autour desquels s'articuleront les coulisseaux qui se meuvent entre les glissières; ces tourillons assez fortement saillants reposent sur des embases *e e'* planes et rondes; enfin, la fourche *f f'* reçoit la petite tête de bielle motrice. Le fond *g* de cette cavité est à peu près sphérique, et les deux joues *h* et *h'*, qui sont minces, rondes et de grand diamètre, sont percées de deux trous ronds *i*, *i'*, dans lesquels s'engage le boulon d'articulation.

La pièce finie pesait 25 kilogrammes; le maître de forge fit observer qu'il ne fallait pas songer à obtenir au forgeage aucun des trous *a*, *b*, *c*, que les deux branches *ff* de la fourche auraient environ 8 millimètres de surépaisseur et ne seraient pas percées, ou que le trou en serait à peine préparé; que les diverses dimensions de la pièce seraient dans chaque sens forcées de 6, 8 et 10 millimètres; en un mot, il ne voulut pas s'engager à fournir la pièce brute de forge à moins de 45 kilogrammes. Le prix fut fixé à 2 fr. le kilog. à cause de la difficulté du travail et de la bonne qualité de fer exigée. Il restera d'autant plus de main-d'œuvre d'ajustage que le forgeron laissera plus de matière, et, quelque bon marché que soit aujourd'hui le travail des machines-outils, la pièce, réduite à ses 25 kil., reviendra bien à 5 fr. le kilogramme. Or, il est clair que si l'on n'avait pas trouvé certaines épaisseurs dans la pièce trop fortes pour permettre l'emploi de la fonte malléable, et si l'on avait eu d'ailleurs assez de confiance dans la solidité de ce métal pour tenter cette application, on aurait obtenu, pour 1 fr. 80 peut-être le kilogramme, une pièce brute pesant pour 25,28 ou 29 kil. au plus, présentant à peu près à leurs côtés le trou *a*, le trou *b*, la mortaise *c*, les trous *i* et *i'*. Cette pièce n'aurait eu sur chacune de ses faces que 1 à 2 millimètres de surépaisseur, et la main-d'œuvre d'ajustage aurait été considérablement moindre. La pièce serait ressortie à moins de 3 fr. le kilog.

Application.—Nous ne sachions pas qu'on ait jamais fait une tête de piston de locomotive en fonte malléable, et nous n'oserions même conseiller de le tenter qu'avec la plus grande prudence; mais, bien des mécaniciens, soucieux de leurs prix de revient, ont appliqué les raisonnements qui précèdent à diverses pièces des mécanismes qu'ils construisent. C'est ainsi que l'on fait en fonte malléable des bielles à fourche, têtes de piston et arbres coudés de machines de deux ou trois chevaux, des leviers, bielles, balanciers, guides, pignons et roues d'engrenage, et autres pièces assez fortes de presses à imprimer, de grosses horloges, de machines à coudre, de métiers, de forges et souffleries portatives, et de divers autres mécanismes.

Étude des formes en vue de l'emploi de la fonte malléable.—Il est naturel de combiner les formes des pièces, non pas seulement d'après les services qu'elles doivent rendre, mais aussi d'après la matière qui servira à leur fabrication; c'est ainsi qu'en dessinant une pièce qui doit être forgée, on prévoit la position des soudures, on évite des étirages trop prononcés, des coudes trop brusques; de même qu'en étudiant un modèle destiné à la fonderie, on se préoccupe de la dépouille, on évite les pièces à battre, les noyaux difficiles à bien centrer, les formes qui prêteraient aux soufflures, aux manques de fonte, les parties minces qui blanchiraient à la coulée.

Nous pensons que quelqu'un qui s'exercerait à employer la fonte mal-

léable dans des circonstances diverses trouverait aussi pour les pièces qu'il aurait à faire les formes les plus appropriées, et en particulier pourrait, dans bien des cas, remplacer une épaisseur trop forte par des parties plates ou tubulaires ou cloisonnées, qui se recuiraient dans de bonnes conditions et présenteraient plus de résistance.

Pièces minces. Avantage de prix. — Mais, dans les pièces minces et legères, il s'en rencontre un grand nombre qui coûtent très-cher à forger. Dans une série de clefs à écrous, par exemple, les clefs de fort calibre s'obtiennent à 1 fr. 10 le kilogramme, tandis que la petite clef en S, représentée en demi-grandeur (fig. 4), et qui convient aux écrous pour boulons de 8 et de 10, coûte, à la pièce, environ 70 c., soit, à raison de 100 grammes, 7 fr. le kilog. En fonte malléable, et certes elle remplit tout aussi bien le but, en comptant à raison de 2 fr. le kilog., elle ne coûte que 0,19 la pièce.

Les clefs de robinet à douille carrée ne coûtent que 1 fr. le kilog., s'il s'agit de fortes dimensions; mais celle que représente en demi-grandeur la figure 5 revient à 0,65, soit, pour 110 grammes, à près de 6 fr. le kilog.; tandis qu'en comptant la fonte à 2 fr. le kilog. elle ne coûterait que 0,21.

Les écrous ordinaires en fer coûtent, bruts de forge, de 0,50 à 1 fr. le kilog. pour dimensions ordinaires, soit pour boulons de 10 à 12 millimètres; mais comme les écrous plus soignés et plus petits coûtent plus cher, il s'en fait en fonte malléable. Il s'en fabrique même à Paris, qui sont tout taraudés à la fonte; ils sont très-réguliers de forme, et leur solidité est assez grande pour casser les boulons de la meilleure qualité. Le taraudage fondu n'est pas très-net et doit être repassé; mais, à cause du fini que donne le moulage, ces écrous, simplement blanchis à la meule, donnent à assez bon marché un produit de très-bonne apparence.

Les clefs de serrure, les clefs de pendule et de lampe, les détails de balancerie, coûtent en fonte malléable moins de moitié de ce qu'ils coûtent généralement en fer forgé, tellement que cette dernière fabrication a presque entièrement disparu.

Les petites manivelles qui entrent en si grand nombre dans les machines-outils et dans bien d'autres mécanismes, offrent aussi l'exemple d'une grande économie. Les pièces d'une clef anglaise ou parisienne sont encore dans le même cas.

Mais, l'exemple le plus frappant qu'on puisse citer est certainement l'application aujourd'hui générale de la fonte malléable dans l'armurerie. Ces charmants revolvers à six coups, à tonnerre tournant et à un seul canon, qui sont vraiment de petites merveilles mécaniques, s'établissent en fabrique à des prix incroyables, oscillant autour de 25 fr. Et tout en faisant la part du grand perfectionnement des procédés mécaniques employés dans cette industrie, il faut bien reconnaître que si l'on devait forger en fer ou en acier les pièces compliquées qui composent ces pis-

tolets, et si toutes ces pièces n'étaient pas fondues à peu près à leur forme définitive, il serait impossible d'approcher d'un semblable prix de revient.

Pièces très-légères.— Si l'on descend à des pièces tout à fait petites, déliées et légères, comme des boutons de courroies, des bagues pour tringles de rampes d'escalier, des vis à clefs de violon, des porte-mousqueton, des boucles diverses, des pièces de serrures et de cadenas, des viroles coniques pour manches de petits outils, des pièces de coutellerie, des couvercles de godets graisseurs, des détails de lampisterie (voir fig. 6, pl. 31), on reconnaît que, parmi ces pièces dont le prix ne dépasse guère 2 fr. 50 le kilogramme, en fonte malléable, il s'en trouve plus d'une qui, fabriquée en fer, atteint des prix de 8 et 10 fr. le kilogramme. Ainsi, l'on peut imaginer ce que coûterait à forger en fer ou en acier une fourchette à découper; ces pièces se font aujourd'hui presque toutes en fonte malléable.

Pièces qui ne peuvent se forger. — Il y a même des cas où les pièces se compliquent de telle façon que le forgeage serait presque impraticable, et qu'il faudrait obtenir toutes les formes en découpant à même la masse; la fonte malléable offre alors plus qu'un avantage de prix, elle permet d'atteindre des résultats presque impossibles autrement. C'est principalement dans les recherches des inventeurs que ce cas se présente; on sait en effet que l'inventeur arrive rarement du premier jet à la simplicité, et que n'ayant tout d'abord en vue que le but même qu'il s'est proposé, il se préoccupe peu des embarras d'exécution des divers détails de son projet. Nous avons eu occasion de voir, il y a quelque temps, une filière à tarauder d'une combinaison fort ingénieuse, dans laquelle entrait comme élément principal une cage fort compliquée et demandant de la solidité; elle ne pouvait être exécutée ni en fonte ni en bronze. On ne pouvait songer à approcher d'une semblable forme par le forgeage; on aurait eu avec le fer une main-d'œuvre exceptionnellement longue et coûteuse; la fonte malléable a permis d'obtenir, à un prix très-abordable, cette pièce compliquée.

Économie de poids. — Lorsqu'on dessine une pièce à exécuter à la forge, on cherche, comme nous l'avons dit, à ménager la main-d'œuvre, et cette considération conduit souvent à un emploi peu avantageux de la matière, au point de vue de la résistance de l'objet. On n'a pas ces ménagements à garder avec la fonte malléable, et il sera quelquefois possible de tirer parti de cette commodité pour alléger certaines pièces de mécanique. Combien de bielles, de leviers, de manivelles sont faits tout d'une venue et à section constante, parce qu'il eût été long et coûteux de suivre dans le tracé la parabole qu'eût exigé l'égale résistance des diverses parties.

Avantage de qualité. — Toute soudure est incertaine et constitue un

point faible de la pièce finie; mais il est des cas particuliers où la soudure est si difficile à bien faire, où il y a tant de chances de la mal réussir, qu'elle constitue un véritable danger. Dans tous ces cas, la fonte malléable, qui donne des pièces d'un seul morceau, présente sur le fer un avantage de solidité qui peut s'ajouter à l'avantage de prix. Dans un étrier, les branches sont nécessairement soudées sur le cadre de la grille; on conçoit que cette soudure ne peut guère être qu'un encollage plus ou moins parfait, d'abord à cause de la petite dimension des parties, puis à cause de la difficulté de frapper efficacement, au moins pour la seconde extrémité de l'anneau. Il en résulte que l'étrier est loin de présenter la solidité qu'il aurait s'il pouvait être fait d'une seule pièce.

MM. Morin et Tresca ont eu occasion de mettre ce fait en lumière, dans une série d'expériences comparatives fort intéressantes, entreprises pour le ministère de la guerre sur des étriers en fer et en fonte malléable de la forme de ceux en service dans l'armée. Cet étrier est représenté fig. 7, pl. 31.

Les deux branches avaient un diamètre moyen de 11 millimètres, le cadre de la grille avait en moyenne 10 millimètres de large et une hauteur de 11 millimètres dans l'étrier en fer, et de 8 millimètres dans l'étrier en fonte.

Deux pièces en fer et une en fonte ont été soumises aux essais; on les a suspendues par l'anneau, et on a accroché sous la grille des poids de plus en plus considérables, jusqu'à la rupture. Les étriers en fer, sous la charge de 1,000 kilog., se sont rompus à l'attache de l'une des branches sur le patin; l'étrier en fonte malléable n'a rompu que sous une charge de 1,354 kilog., et c'est la grille qui s'est séparée en son milieu.

Un second étrier en fonte a été abandonné à l'action de la pesanteur, à une hauteur de 15 mètres; il s'est seulement fissuré à la seconde chute.

M. Tresca conclut de ces expériences que l'étrier en fonte malléable présente plus de garanties de sécurité que l'étrier en fer, tel qu'il se fabrique généralement.

Une bride de ressort de wagon est à peu près dans le même cas; nous avons vu un lot assez fort de pièces de cette espèce refusées pour manque de résistance, et nous avons pu nous rendre compte de la difficulté qu'il y avait à bien les confectionner. Ces brides avaient la forme (fig. 8). Il faut souder les deux oreilles *a b*, ou bien souder les côtés de la chape *c d*, ou encore faire les quatre soudures; or la forme de la pièce rend ce travail fort délicat; on n'arrive qu'à des encollages insuffisants, et le fer peut être altéré par la surchauffe. Ces pièces, avec toutes les chances de mal façon qu'elles présentent, coûtent encore au moins 1 fr. 50 le kil., pour peu qu'on veuille employer de bon fer et le traiter avec soin. La fonte malléable permettrait plus de légèreté et donnerait une sécurité plus grande.

Les viroles qui servent à fixer dans les plaques des foyers les tubes à

fumée des chaudières tubulaires, se font par soudure ou emboutissage. Les deux procédés ont leur inconvénient. La virole soudée est souvent surchauffée et aigre ; la virole emboutie est fortement écrouie et fatiguée par le travail de déformation. Toutes deux sont parfois très-cassantes. Les viroles en fonte malléable coûtent un peu moins cher et paraissent, d'après les essais qui en ont été faits sur quelques chemins de fer, être de meilleure qualité que celles en fer. On leur a quelquefois reproché un peu de mollesse, mais c'est un défaut auquel il est facile de parer.

Comparaison avec la fonte. — Beaucoup d'objets sont utiles, bien plutôt par leur forme que par leur solidité; ces objets se font le plus souvent en fonte ordinaire; il en est cependant qui, tout en n'ayant pas d'efforts à transmettre, doivent pouvoir subir sans sauter en éclats quelques légers chocs accidentels; or la fonte, surtout lorsque les épaisseurs deviennent très-petites, est cassante, et même celles dites fontes douces peuvent ne pas suffire à ce point de vue dans certains cas particuliers.

C'est ainsi que l'on fait en fonte douce de moulage presque toutes les pièces des poêles; et que dans les constructions soignées on fait en fonte malléable les cadres de portes de ces mêmes poêles, qui se manœuvrent souvent et peuvent être heurtés assez fort. Le fer ne pourrait s'employer à cause des formes ornementées de ces cadres. On fait de même en fonte malléable certaines portions spéciales des grilles, dont la masse est, soit en fonte ordinaire, soit en fer forgé. C'est dans le même ordre d'idées que l'on fait très-souvent en fonte malléable les couvercles des boîtes à graisse de wagons. Dans la serrurerie, pour la fermeture des fenêtres, des volets, des portes à battants, ou remplace, d'après ces considérations, beaucoup de pièces en fonte par des pièces en fonte malléable.

Comparaison avec le cuivre. — Comparée au bronze ou au laiton, la fonte malléable présente dans tous les cas l'avantage du bon marché, puisque la matière première coûte moins cher, et que les procédés de fabrication des objets sont presque les mêmes. Mais, dans la plupart des cas, on conserve le cuivre soit pour son apparence extérieure, soit pour la façon dont il supporte le frottement, soit parce qu'il n'est pas sujet à s'altérer par la rouille, ou bien encore à cause de la valeur intrinsèque que conservent les objets mis hors d'usage par l'usure ou par toute autre cause. Il est cependant des cas où la fonte malléable remplace avantageusement les alliages de cuivre. Ainsi, on voit, sur les portes cochères, des poignées, des marteaux, des boutons de sonnettes, et autres ornements en fonte malléable polie ou ciselée, qui sont d'un aussi bel effet, et qui s'entretiennent tout aussi aisément que des ornements en cuivre. On fait en fonte malléable ciselée des candélabres, des manches de poignard, des armes de modèle antique, des statuettes qui soutiennent bien la comparaison avec les bronzes de diverses couleurs. On fait des coussinets en fonte malléable trempée. On emploie la fonte à la construction de bien

des robinets pour distribution d'eau potable, et on les considère comme plus hygiéniques et plus solides que les robinets en cuivre. On en fait aussi des couverts de table qui sont argentés comme ceux en maillechort.

Enfin, pour citer un dernier exemple, on emploie la fonte de préférence au laiton pour faire les viroles de certains outils à main, parce que l'ouvrier devant sans cesse mouiller son doigt sur ses lèvres, il faut éviter le contact du cuivre.

Comparaison avec l'acier. — On a voulu aussi substituer la fonte malléable à l'acier dans la fabrication des outils et des tranchants. Bien des ciseaux, couteaux, sécateurs, pinces diverses, sont en fonte malléable; on en fait aussi des mèches, des tarières, des planes, des tranchets, des haches; on en a même fait des rasoirs. Il est certain que la fonte malléable forgée avec soin à basse température prend un grain d'une finesse remarquable, que la trempe au paquet lui donne une dureté aussi grande que celle de l'acier. Cependant, à cause de l'infériorité de la fonte malléable au point de vue de la résistance au choc et surtout à cause des défauts que ce métal présente souvent, et dont rien ne décèle la présence, il est à croire que les tranchants obtenus, surtout s'ils doivent supporter des chocs, ne valent pas en général les outils d'acier. Il s'en trouve d'une qualité remarquable, mais on n'a pas une sécurité suffisante. Cependant, à cause de l'avantage de prix pour les objets de forme compliquée, on emploie en grand la fonte malléable dans la coutellerie et la taillanderie pour les articles de qualité ordinaire. Ces objets sont aussi beaux comme fini et comme poli que s'ils étaient en acier, et il est souvent bien difficile de distinguer les deux métaux l'un de l'autre.

Prudence a apporter dans les applications de la fonte malléable. — On pourrait être tenté de conclure, de ce qui précède, que nous considérons la fonte malléable comme une matière méritant un emploi général, digne d'être préférée au fer, à la fonte, au bronze dans les arts et dans la mécanique. Telle n'est pas, à beaucoup près, notre pensée; nous n'irions pas jusqu'à dire, comme on peut le lire dans un Mémoire sur les chemins de fer à fortes rampes, récemment publié par un ingénieur, que l'emploi de ce métal sera un jour l'un des éléments importants de la réduction du poids des locomotives et des wagons.

Il faut des conditions spéciales pour que l'application de la fonte malléable soit possible et avantageuse, et après avoir indiqué, d'après l'examen des propriétés du métal, les raisons qui peuvent conduire à son emploi, il n'est pas inutile de montrer aussi les cas où on ne peut songer à l'utiliser.

Insuffisance de la solidité. — Chaque fois qu'il s'agit d'une pièce devant résister, sous de faibles dimensions, à de grands efforts et à des chocs intenses, la fonte malléable ne peut être admise, puisqu'avec une

résistance au plus égale à celle des bons fers, elle n'offre qu'une faculté d'allongement beaucoup moindre.

Manque d'homogénéité. — La fonte malléable n'est pas homogène, et toute pièce qui devrait, avant l'emploi, être tournée, mortaisée ou rabotée un peu profondément, ou qui serait susceptible d'usure dans son service, présenterait bientôt dans certaines parties de la fonte au lieu de fer. C'est encore une raison d'exclusion dans bien des cas.

Défauts intérieurs. — Les défauts de fonte inévitables dans la fabrication courante sont encore un inconvénient grave, et l'emploi de la *fonte* malléable dans les canons de pistolets nous semble, pour cette cause, une application un peu hasardée.

Prix élevé. — Enfin et surtout, le prix élevé du produit sera le plus souvent le premier empêchement à l'extension de son usage. Certes, les pièces légères et compliquées coûtent cher à forger; mais, dès qu'il s'agit d'objets d'une fabrication courante et commerciale, on est surpris des prodiges de bon marché réalisés par le perfectionnement des procédés mécaniques ou par la grande habileté manuelle des ouvriers. Ainsi, un écrou, un boulon, un clou, une pointe, un harpon, une bride de tuyau, sont certainement des corps de formes bien spéciales, on serait tenté *à priori* de supposer une fabrication difficile, et par suite un prix élevé; or tous ces articles se payent entre 40 c. et 1 fr. 25 c. le kilogramme. En recherchant le prix au kilogramme de menus articles de ce genre qui ne se vendent pas au poids, comme les rondelles, crochets, pitons, vis, anneaux, charnières, viroles, goupilles, on reconnaît aussi que ces objets se vendent à très-bon marché; ils dépassent rarement 1 fr. ou 1 fr. 50 le kilogramme. Dans ces conditions, la fonte malléable qu'on pourrait peut-être chercher à appliquer ne peut que rarement lutter pour le prix.

Et comme les procédés de fabrication des articles de ce genre vont sans cesse en se perfectionnant, la fonte malléable, si le prix ne s'en abaisse pas sensiblement, perdrait plutôt de ses avantages. Ainsi, un serrurier passait autrefois quelques heures à forger une clef; la clef en fonte coûte 10, 15, 20 centimes; mais on dit qu'un grand fabricant peut aujourd'hui lutter contre ces prix, cependant bien réduits, par un système d'estampage des clefs en fer forgé.

État actuel des applications. — Quoi qu'il en soit, pour donner une idée nette de l'état actuel de l'application de la fonte malléable à Paris, nous rapportons ci-dessous la composition d'un lot d'environ 1,000 kilogrammes de produits représentant la fabrication d'une journée de travail de la plus grande fabrique de Paris. On trouvera, en regard de la désignation des divers objets, leur nombre, leur poids unitaire et leur poids total.

CATÉGORIE.	DÉSIGNATION DES PIÈCES.	NOMBRES.	POIDS unitaire. grammes.	POIDS total. kilogrammes.
				kg.
Sellerie....	Mors de brides	20	500	10,000
	Embouchures de mors	30	100	3,000
	Étriers	60	450	27,000
	Éperons	150	150	22,500
	Boucles diverses	500	110	55,000
Carrosserie...	Bouts de timons	40	80	3,200
	Crapauds	20	700	14,000
	Douilles	30	90	2,700
	Garde-crotte	10	1600	16,000
	Porte-lanterne	12	450	5,400
Serrurerie...	Clefs de toutes grosseurs	1000	50	50,000
	Pièces de serrures	300	80	24,000
	Boîtes de serrures	300	150	45,000
	Verrous	100	30	3,000
	Charnières diverses	100	40	4,000
Armurerie...	Pièces diverses de revolvers	160	300	48,000
	Culasses de fusils	60	50	3,000
	Sous-gardes et pièces de mécanisme de fusils	100	30	3,000
	Moules à balles (deux pièces)	40	200	8,000
Balancerie...	Fléaux de diverses grandeurs	60	300	18,000
	Croisillons de plateaux	120	60	7,200
	Pompes	120	45	5,400
Mécanique...	Pièces de clefs universelles	80	600	48,000
	Écrous	200	30	6,000
	Cages de filières et tourne à gauche	10	500	5,000
	Engrenages	15	2000	30,000
	Pièces de filature	90	300	27,000
	Manivelles	25	250	6,250
	Clefs de robinets	30	200	6,000
	Pièces de presses à copier	15	2000	30,000
	Pièces de machines à coudre	60	350	21,000
	Couvercles de boîtes à graisse	120	400	48,000
	Coins de presses à imprimer	180	350	63,000
Coutellerie... articles de table.	Couteaux de table, de chasse, poignards, etc.	180	120	21,600
	Fusils de bouchers	20	300	6,000
	Sécateurs	100	300	30,000
	Fourchettes à découper, à gibier, à huîtres, à poisson, truelles à poisson	80	110	8,800
	Casse-noisettes	140	180	25,200
Quincaillerie.	Porte-mousqueton	100	125	12,500
	Queues de casseroles	120	450	54,000
	Outils à main divers pour cordonniers	100	250	25,000
	Noix de moulins à café	50	120	6,000
	Ornements divers	15	800	12,000
	Porte-chapeaux	20	140	2,800
	Viroles coniques pour manches d'outils	500	15	7,500
Divers.....	Matrices pour fleuristes	40	500	20,000
	Poches pour fonderie	12	1200	14,400
	Creuset pour métaux précieux	1	26300	26,300
	Pièces pour formes à souliers	25	450	11,250
	Statuettes	4	2500	10,000
	Pièces de robinets à eau	260	150	39,000
	Totaux	5924		1000,000
	Poids moyen d'une pièce		169 grammes.	

Ainsi il résulte, tant de la liste d'articles relatée ci-dessus, que des indications qui ont été données plus haut sur les applications de la fonte malléable, que l'emploi de ce métal est largement entré dans la vie usuelle, dans les arts et dans la mécanique.

Usage journalier de la fonte malléable. — Il n'est personne qui n'en fasse usage presque journalièrement. Nous en portons sur nous; les boucles de nos gilets, les clous de nos souliers, les pièces de notre canif en sont peut-être composées; la bijouterie dite d'acier poli en est aussi faite. Si nous rentrons chez nous, nous ouvrons avec une clef en fonte malléable la serrure en fonte malléable d'une porte ferrée en fonte malléable. A table, la fourchette à découper, le tire-bouchon, le levier du siphon d'eau de Seltz, le casse-noisettes, les couteaux peut-être sont *en fonte* malléable; la lampe, la balance, la casserole, le moulin à café, la broche, le soufflet, ont plus d'une pièce en fonte malléable. Sortons-nous en voiture, le cheval est couvert de boucleries et de harnachements *en* fonte malléable; le marchepied, le porte-lanterne, les compas de capote, les garde-crotte, les charnières des portes, souvent même ces cuivreries qui reluisent au soleil, sont en fonte malléable. A la chasse, tout le mécanisme du fusil, bien des pièces du couteau, le porte-mousqueton de la chaîne des chiens, le mors du cheval, les étriers et les éperons du cavalier, sont en fonte malléable.

Ce métal est peu connu et mal apprécié. — Comment se fait-il qu'un métal qui est depuis longtemps d'un usage aussi général soit à peu près ignoré, ou bien soit de la part de ceux qui le connaissent l'objet d'un préjugé que rien ne justifie? Les causes en sont faciles à comprendre: nous avons vu en effet qu'à part quelques cas exceptionnels, l'emploi de ce métal ne présentait d'autre avantage que celui de l'économie. Il est arrivé que les fournisseurs, qui ont trouvé intérêt à l'introduire dans leur fabrication, ne pouvant vanter aux consommateurs aucune qualité nouvelle du produit, se sont bien gardés de faire bruit de cette substitution de matières. Comme la fonte décarburée ne se distingue que très-difficilement du fer, qu'elle reçoit les mêmes formes, qu'elle a le même aspect extérieur, la même composition, qu'elle se comporte à peu près de même sous l'action des divers outils, que la cassure même suffit à peine pour la reconnaître, et qu'il n'y aurait guère, dans bien des cas, que la densité qui pût servir de criterium certain, la substitution s'est opérée très en grand sans attirer l'attention.

Mais la fonte malléable est d'une production assez difficile; il faut des soins minutieux et une fabrication consciencieuse pour livrer de bons produits. Il est donc arrivé bien des fois qu'un article en fonte malléable, vendu pour fer ou pour acier, soit par suite de mauvaise qualité, soit accidentellement, s'est cassé dans son service. L'acheteur, reconnaissant quelquefois alors une substitution dont il n'a pas été averti, trouve

mauvais d'avoir été trompé et s'en prend au produit, tandis que s'il avait employé sciemment le métal dont il s'agit, il aurait choisi peut-être des dimensions un peu plus fortes, il aurait mieux approprié les formes à la nature du métal, et surtout il aurait été porté à tenir compte de la différence de prix dont il aurait profité.

Influence du nom. — De là vient peut-être la réputation peu avantageuse, il faut l'avouer, de la fonte malléable. Nous pensons que le nom même qui a été donné à ce métal est pour quelque chose dans le préjugé qu'il rencontre. Nous sommes peu portés à accorder une bien grande solidité à un métal qu'on nous présente comme une certaine sorte de fonte, et nous oublions volontiers que ce n'est en définitive que du fer de bonne qualité, et particulièrement pur, obtenu par un procédé spécial.

Applications faites a tort. — Il faut dire aussi que les applications de la fonte malléable n'ont pas été toujours choisies judicieusement. Les couteaux et les rasoirs, les canons de pistolets, les pièces de machines trop épaisses pour être décarburées à cœur et devant cependant résister à des chocs intenses, les objets délicats d'une fonte difficile et qui présentent souvent d'inévitables défauts, sont des exemples bien faits pour donner mauvaise opinion d'une matière dont le seul défaut serait d'avoir été employée mal à propos.

Développement de l'application de la fonte malléable. — Mais nous pensons qu'il est juste de réhabiliter un métal qui nous a rendu, à notre insu, pendant tant d'années, des services si divers. Les fabricants en tireront bien meilleur parti quand ils pourront l'employer ouvertement, et disposer ainsi en vue de cet emploi des dimensions et des formes des objets à exécuter. Pour développer l'emploi de ce métal, il faut d'abord que son existence et ses propriétés soient connues; il se présentera alors dans la pratique journalière bien des occasions de l'appliquer utilement. Mais ces applications seront surtout facilitées si quelques perfectionnements viennent réduire le prix de revient de la fonte malléable. On l'obtient encore aujourd'hui par les procédés suivis en 1804, et il n'est pas douteux que l'emploi de fontes d'un prix moins élevé, la substitution aux creusets d'un mode de fusion moins coûteux, la décarburation par des courants de gaz ou de vapeurs d'une composition convenable, donnant une réaction plus rapide et plus complète, le moulage mécanique des objets de répétition ne viennent un jour abaisser notablement le prix de cette utile matière.

NOTE

SUR UN NOUVEAU SYSTÈME DE VOIE COMPLÉTEMENT EN FER

DITE

VOIE A ÉCLISSES-TABLES

PAR M. MAZILIER.

Parmi les problèmes qui sollicitent les recherches des ingénieurs de chemins de fer, celui qui consiste dans l'étude d'une voie entièrement métallique est sans aucun doute un des plus intéressants. Le renchérissement constant des bois lui prête, du reste, un intérêt toujours croissant.

Le rail Barlow et les nombreuses dispositions imaginées et essayées en Angleterre pour associer au rail ordinaire des supports en fonte, sont des conséquences des constants efforts tentés pour affranchir les voies ferrées du coûteux emploi du bois.

La condition de continuité de support, d'un incontestable avantage, vient encore ajouter à l'intérêt déjà si grand de la question. Les partisans du rail Barlow, du rail Vignole posé sur longrines, et du rail Brunel, faisaient prévaloir en faveur de ces systèmes de voie cette condition comme la plus favorable. C'est surtout à elle que ces systèmes ont dû d'être essayés sur différentes lignes, et qu'ils n'ont été abandonnés qu'après que des expériences prolongées eurent démontré l'impossibilité d'admettre les divers inconvénients inhérents à leur nature ou à leur mode de fabrication.

D'un autre côté, le renforcement de la voie aux joints est d'une telle importance que l'éclisse est maintenant un élément regardé comme indispensable à une voie bien établie.

C'est l'étude simultanée de ces trois problèmes qui nous a conduit au rail à éclisses-tables, lequel offre une solution à chacun d'eux.

Il se compose d'un rail ou pièce à surface de roulement, et de deux éclisses serrées contre le rail, et munies d'une table à leur partie supé-

rieure. C'est par l'intermédiaire de ces tables que le système porte directement sur le ballast.

La table intérieure à la voie est abaissée pour laisser passer librement le boudin des roues.

L'écartement des files de rails est maintenu par des entretoises en fer à T, servant en outre à régler l'inclinaison des rails.

Les éclisses-tables sont de longueur quelconque, et les tronçons ne présentent entre eux que de faibles intervalles, afin de ne pas perdre le bénéfice du support continu, tout en facilitant le remplacement des rails et en ne gênant pas la pose de la voie dans les courbes.

Le système de voie à éclisses-tables peut s'appliquer à tous ou à presque tous les rails à double champignon existants, dans des conditions plus ou moins favorables, suivant la facilité qu'offre le rail à l'éclissage.

Le mode d'emploi des rails à champignons usité jusqu'à ce jour, c'est-à-dire posés sur coussinets, plaçait l'ingénieur dans une de ces deux alternatives : ou sacrifier la forme et la résistance du rail à un bon éclissage, ou *vice versâ*. Force lui était alors de prendre un terme moyen, qui ne donnait entière satisfaction à aucune des conditions essentielles d'une bonne voie : saillie des champignons suffisamment épaulée, et hauteur d'éclisse assez grande, avec surface de contact suffisamment inclinée pour éviter l'effet de coinçage du rail sur les éclisses.

Le rail soutenu, comme il l'est dans la voie à éclisses-tables, au-dessous des épaulements du champignon supérieur, peut recevoir une forme qui obéisse aux conditions demandées par un bon éclissage, sans qu'il soit à craindre de voir s'écraser les bords de ce champignon mal épaulé par lui-même, puisqu'il est soutenu directement par le support.

Cette faculté a permis d'étudier une forme de rail dans lequel les faces en contact avec l'éclisse sont inclinées à l'angle-limite du frottement, ce qui, annulant le coinçage que produisent le plus souvent les rails sur leurs éclisses, diminuera considérablement l'effort des boulons, qui n'auront guère à subir que celui qui résultera du mouvement de lacet des wagons.

Le système de voie à éclisses-tables peut revendiquer les avantages suivants :

1. *Conséquences qui résultent de l'absence absolue du bois et de la fonte.* — Les quelques mots que nous avons dits au début, dans l'intention d'exposer les idées qui ont conduit au système en question, font déjà sentir l'importance de la suppression du bois. Des chiffres donneront plus loin la mesure de cette importance.

La suppression de la fonte, unie à celle du bois, ajoute, du reste, à la valeur de la voie considérée au point de vue de la durée des matériaux qui la composent, puisque les éléments de durée plus éphémère, le bois

sujet à la pourriture et la fonte d'une certaine fragilité, y sont éliminés et remplacés par le fer, dont la durée est beaucoup plus grande.

2. *Emploi possible d'une partie de l'ancien matériel.* — Ce mode de pose de voie peut évidemment s'appliquer à la généralité des rails à double champignon symétriques ou non, sauf de très-rares exceptions résultant d'une trop faible hauteur du rail. L'application en serait même possible au rail américain.

Nous n'insisterons pas sur les avantages qui résultent d'une pareille faculté; il nous suffit de faire remarquer que les éléments des voies actuelles qui, dans le cas d'une application du système, seraient mis de côté, sont précisément ceux qui, à des époques plus ou moins éloignées, doivent être renouvelés. Le remplacement de ces éléments ne se fait pas, il est vrai, par région d'une grande étendue; mais l'emploi simultané et pour ainsi dire côte à côte, de l'ancien et du nouveau système dans une même voie, ne nous semble présenter aucune difficulté. Le changement de système pourrait ainsi se faire peu à peu et sans bouleversement de la voie.

3. *Possibilité d'un support continu.* — Nous avons dû émettre un doute en énonçant, au profit du système, cette condition d'une indiscutable importance, parce que l'opinion de plusieurs ingénieurs qui font loi dans les questions de voie lui semble contraire. Il nous semble, toutefois, que les deux modes d'emploi du système, en support continu et en support discontinu, ont chacun leur raison d'être. Le mode de pose de voie par tronçons d'éclisses-tables avec des intervalles plus ou moins grands pourrait être avantageux pour les rails actuels étudiés au point de vue de support discontinu. Au contraire, le rail spécialement étudié en vue de notre système ne saurait se satisfaire de pareilles conditions, à cause du peu d'épaulement de ses champignons. La condition qui a présidé à son étude lui impose d'avoir les saillies de son champignon supérieur supportées d'une manière continue, ou à peu près.

Il nous semble, toutefois, qu'il serait regrettable, même au prix d'une augmentation de frais de construction, de sacrifier une condition dont les avantages sont si évidents que la démonstration en serait oiseuse.

4. *Éclissage parfait.*— Nous n'hésitons pas à prêter à la voie à éclisses-tables cette qualité, puisque, comme nous l'avons montré, il est possible d'étudier une forme de rail qui la satisfasse entièrement sans qu'on ait à compter avec l'incompatibilité de la condition simultanée d'un fort épaulement.

5. *Grande stabilité.* — Comparée aux systèmes de voie à traverses, la voie à éclisses-tables se trouve dans des conditions identiques à ceux-ci, en ne considérant que la surface de la partie formant appui sur le ballast : la largeur des tables ayant été fixée par la condition de présenter

la même surface d'appui par mètre courant que celle des voies à traverses.

Au point de vue du tassement d'une des files de rails en un point de la voie, le système à traverses présente cet avantage d'étendre plus en dehors de la voie la surface résistante en lui donnant un plus grand bras de levier. Mais cet avantage est contre-balancé par celui que présente la voie à éclisses-tables, d'offrir sur toute la longueur du rail, et uniformément, une surface d'appui; de ne pas permettre, vu la grande rigidité d'une file de rails, un tassement local; d'intéresser directement à la résistance en un point les parties avoisinantes; de retarder par là l'affaissement de la voie, et d'en atténuer les conséquences sur la marche des trains.

De sorte que ce système ne permet pas cette anomalie que l'on remarque dans les voies à traverses, lorsque l'effet en est très-sensible, à savoir : le rail, après sa flexion, se redressant et ramenant avec lui la traverse; ni ce danger qui est la conséquence d'un affaissement du ballast ou du débourrage d'une traverse, de faire travailler les rails avec une portée double de celle pour laquelle ils ont été calculés.

Comparée aux voies à support continu, la voie à éclisses-tables présentera un avantage plus grand encore, en ce qu'elle est à peu près exempte du défaut originel qui arrête l'extension de l'emploi de ces voies, malgré les avantages évidents qu'elles présentent à d'autres égards; nous voulons parler de la tendance au déversement.

Nous avons, en effet, entendu des ingénieurs proscrire dès l'abord, et d'une manière absolue, tous les systèmes de voie à support continu, sous le prétexte que tous, ou tous ceux essayés du moins, présentaient cet inconvénient du déversement des files de rails. On peut dire que ce défaut est inhérent à la condition qui caractérise ces systèmes, et à laquelle ils doivent leur principal avantage : le support continu. Seulement, ce défaut ne se présente pas dans tous les types avec le même degré de gravité.

Ainsi, dans la voie à éclisses-tables, la disposition de la surface d'appui à la partie supérieure annule, ou du moins atténue considérablement cette tendance au déversement. De tous les systèmes de voie à support continu, c'est celui qui présente le rapport le plus faible entre la distance verticale qui existe entre le point d'application des efforts transversaux exercés par le boudin des roues à la surface d'appui et la demi-largeur de celle-ci; par conséquent, c'est celui qui présente la plus grande stabilité.

L'examen du tracé, joint à cette note, suffira à rendre ce fait évident pour tous les yeux.

On a supposé une inclinaison forte et quelconque du reste, soit celle de 45° pour la résultante du poids de la roue et de l'effort transversal de son boudin à un moment donné. Cette résultante a été tracée dans des

conditions analogues pour chacun des trois systèmes de voie : voie Vignole posée sur longrines, voie Barlow et voie à éclisses-tables.

On peut remarquer de prime abord que, dans le premier système, cette résultante sort complétement de la surface d'appui, et doit tendre à produire le renversement de la file de rails avec une grande énergie, à laquelle on comprend que les entretoises ne puissent résister; que cette même résultante passe au cinquième environ de la largeur de la surface d'appui du rail Barlow, et tend à produire le même effet, constaté, du reste, lors de l'emploi de ce rail, tandis qu'avec la voie à éclisses-tables cette même résultante, tracée de la même manière, passe très-près du milieu de la largeur de l'appui. La tendance au déversement doit donc être très-peu sensible dans cette voie. Elle sera combattue par la table elle-même, et non par les entretoises, que l'on a accusées d'être trop faibles, celles-ci ne devant servir, à notre sens, qu'à maintenir l'écartement des files de rails et à régler l'inclinaison lors de la pose, ainsi que nous l'avons dit déjà.

Rien n'empêcherait, du reste, d'augmenter la largeur de la table extérieure, si cette précaution se montrait nécessaire; mais il faudrait ne le faire qu'avec ménagement, parce que, dans le cas d'action normale de la roue sur le rail, la pression s'exerce de l'autre côté du milieu de l'appui.

6. *Suppression des inconvénients du retournement.* — Les inconvénients justement reprochés au retournement du rail posé sur coussinet, lesquels ont fait évanouir les belles espérances qu'on avait fondées sur ses prétendus avantages, ne peuvent se présenter dans les rails posés avec éclisses-tables. La déformation et l'usure du champignon de roulement, n'ayant lieu qu'à la surface supérieure, ne peuvent nuire à la stabilité du rail dans les supports, comme elles le font dans le cas du coussinet. La dépression produite par le martelage du rail sur la table du coussinet est annulée par la suppression de celui-ci. Enfin, les changements moléculaires, si souvent niés et dont on ne peut encore affirmer la réalité, résultant de la différence de nature du travail auquel est soumise chaque partie du rail après le retournement des parties en fer grenu, changements qui devraient exposer à un travail d'extension, ne semblent pas à craindre avec le rail à éclisses-tables, quelle que soit d'ailleurs la réalité de leur fâcheuse intervention.

Le rail, en effet, soutenu sous le rebord de son champignon supérieur, n'a pas à subir le mode de travail qui lui est ordinairement imposé; la pression des roues devant se transmettre directement aux tables-supports, par l'intermédiaire de la saillie du champignon supérieur, en y produisant une compression. Dans une voie en bon état, la flexion générale devra être très-faible, et le travail à l'extension pour ainsi dire nul.

7. *Réduction des frais d'entretien et de remaniement de la voie.* — La ré-

duction des frais d'entretien résulte, sans conteste, de la suppression du bois et de la fonte. Cette réduction nous semble devoir être telle qu'on pourrait dire : suppression des frais d'entretien.

Cet entretien ne consistera plus que dans le remplacement, à de rares époques, de quelques rails exfoliés par suite d'une mauvaise soudure entre le corps et la mise supérieure, dans le serrage des boulons et le relèvement des parties déprimées de la voie.

Les boulons rouillés par le contact du sol, et faisant partie d'une voie dont l'uniformité atténue les vibrations, ne devront guère se desserrer.

La dépression de la voie ne devra se produire que lentement et sur de grandes étendues, parce que la surface d'appui du rail à éclisses-tables est égale à celle de la voie à coussinets, et à cause de la rigidité à la flexion de cette sorte de pièce armée qui constitue une file de rails.

L'entretien et le remaniement de la voie devront donc, grâce à toutes ces causes, devenir d'une très-minime importance.

8. *Augmentation de la durée des rails.* — Les conditions éminemment avantageuses dans lesquelles nous avons montré que se trouve le rail de la voie à éclisses-tables : support continu, bon éclissage et mode de travail très-favorable à sa conservation, permettent d'en augurer une durée très-prolongée.

L'expérience, qui seule pourra prononcer sur cette question d'une manière définitive, ne semble pas devoir être défavorable à cette opinion. D'après les observations faites, un rail dure douze à quatorze ans sans être retourné, et cinq ans après un retournement, malgré tous les inconvénients que rencontre le retournement dans les voies à coussinets. Il semble donc que l'on peut espérer une durée totale de service de vingt-cinq à trente ans pour le rail de la voie à éclisses-tables.

9. *Grande douceur de la voie, d'où économie sur l'entretien du matériel roulant et sur la dépense de combustible. Comfort.* — Les ingénieurs paraissent aujourd'hui en désaccord complet au sujet des causes qui donnent de la douceur aux voies; chacun en parle, mais peu essayent d'en donner une explication satisfaisante, et les quelques définitions qu'on en donne sont contradictoires.

Nous ne pouvons admettre, d'après certains dires, qu'une voie est douce parce qu'elle est composée, comme la voie à coussinets, de parties flexibles qui cèdent sous la pression des roues; la présence à côté d'elles de parties relativement très-résistantes doit donner lieu, lors du passage d'un train, à une série de chocs, atténués en partie par les ressorts des véhicules.

La voie sur supports continus doit être dans des conditions évidemment préférables sous le rapport de la douceur.

Il nous semble même que l'idéal de la voie la plus favorable serait une voie uniformément et totalement inflexible, et non pas celle qui se déprime au passage d'un train de façon à obliger la locomotive à constamment gravir une pente.

« La voie Barlow est incontestablement, dit M. Couche, très-bonne et très-douce..... »

Et cependant quelle voie était le plus sûrement condamnée que celle-là, d'après l'idée qu'en entend parfois émettre sur ce qui constitue la douceur des voies?

Nous pensons donc que la voie à éclisses-tables, qui est placée dans des conditions analogues à celles où se trouve la voie Barlow, sera également très-douce, parce qu'elle sera d'une résistance uniforme et qu'elle fléchira peu.

L'uniformité de la voie, sa faible flexion, son complet *éclissage* qui empêchera toute dénivellation et tout désaffleurement des abouts de rails ne devront pas être sans influence sur la conservation du matériel roulant si intimement lié à l'état de la voie, et aussi sur la dépense de combustible qui varie avec toutes ces causes de résistance.

Il serait superflu de montrer combien le comfort des voyageurs gagnerait à l'adoption d'une voie placée dans de semblables conditions d'uniformité, d'égalité de résistance et d'éclissage favorable.

10. *Diminution des chances d'accident et atténuation des conséquences fâcheuses d'un déraillement.* — Les déraillements qui proviennent de la voie sont causés par le bris d'un coussinet, le desserrage d'un coin, l'écrasement d'une traverse pourrie, le désaffleurement de deux abouts de rails, et plus rarement la rupture du rail lui-même.

Aucune de ces causes ne peut subsister avec la voie à éclisses-tables, puisque coussinets, coins et traverses sont supprimés, que le mode de jonction des rails entre eux assure leur complet affleurement, et que le rail n'a aucun porte-à-faux.

D'un autre côté, la facilité de décomposition par malveillance que présente la voie à coussinets est de beaucoup diminuée.

L'emploi de la voie à éclisses-tables diminuerait donc les chances de déraillement.

De plus, il semble que la gravité de la situation d'un train jeté hors voie serait également moindre. Pendant un certain temps, les roues devront rouler sur les tables en portant sur leurs boudins, et le mécanicien pourra, en renversant la vapeur, conjurer le danger sans que les voyageurs aient été mis en grand émoi par les secousses des roues sautant de traverse en traverse, ce qui peut amener le renversement des wagons, et sans qu'il en soit résulté la rupture d'un nombre de coussinets souvent considérable.

Ce Mémoire serait, selon nous, incomplet et partial, si, de même que

nous avons énoncé les avantages que nous croyons pouvoir attribuer au rail à éclisses-tables, nous n'exposions et ne discutions les objections que des ingénieurs fort experts en questions de voie ont bien voulu lui faire.

1. *Importance de la dépense.* — C'est l'objection qui d'abord se présente à l'esprit, et qui semble la plus redoutable. Examinons-la avec attention, et nous verrons qu'elle est moins grave qu'elle ne le paraît.

Établissons et comparons entre eux les prix de revient de plusieurs voies employées et de celle à éclisses-tables, ces voies supposées établies en France et dans des conditions analogues.

Le prix actuel d'une voie à coussinets et éclisses peut s'établir ainsi, pour une longueur de six mètres de voie simple :

	kg.	fr.	fr.
2 rails de 6 mètres pesant 37k,50 le m. c. pour 12m.	450	215	96,75
12 coussinets pesant 9 kil. l'un.....	108	155,40	16,78
6 traverses intermédiaires.....	0mc,636	60	38,16
24 chevillettes, pesant 0k,300 l'une.....	7 ,20	308	2,22
12 coins.....		0,085	1,02
4 éclisses — 4 ,60 —	18 ,40	243	4,47
8 boulons — 0 ,45 —	3 ,60	426	1,53
Sabotage de 12 coussinets.....		0,25	3,00
Pose de la voie.....	6 ,00	0,60	3,60
Plus-value pour la pose des éclisses.....	6 ,00	0,10	0,60
Total.....			168,13

Prix de 1 mètre courant de voie à coussinets éclissée.. 28f 02

Pour le rail Vignole, le devis s'établit ainsi :

	kg.	fr.	fr.
2 rails de 6 mètres pesant 37,50 le m. c. pour 12m..	450	215	96,75
2 selles de joint, pesant 2k,13 l'une.....	4 ,26	350	1,50
28 crampons, — 0 ,30 —	8 ,40	360	3,02
5 traverses intermédiaires.....	0mc,530	60	31,80
1 traverse de joint.....	0 ,127	60	7,63
4 éclisses, pesant 4k,60 l'une.....	18 ,40	243	4,47
8 boulons, — 0 ,45 —	3 ,60	426	1,53
Pose de la voie.....		0,80	4,80
Total.....			151,50

Prix de 1 mètre courant de voie Vignole..... 25f 25

Pour le rail à éclisses-tables (avec tables de 0m,70 de longueur et intervalles de 0m,15), nous avons :

	kg.	fr.	fr.
2 rails de 6 mètres, pesant 37k,50 le m. c... ...	450	215	96,75
9m,80 paires d'éclisses — 37 ,50.....	361 ,50	215	77,72
44 boulons d'éclisses à tête prolongée 0k,600.....	26 ,40	426	11,25
1 traverse d'écartement de 1m,45 (15k,40 le m.)...	22 ,33	180	4,02
4 boulons pour cette traverse 0,36.....	1 ,44	426	0,61
Pose de la voie (eu égard à la nouveauté de ce travail, comptée largement).....		1	6,00
Total.....			196,35

Prix de 1 mètre courant de voie à éclisses-tables..... 32f 72

Cette différence considérable entre les prix de revient de la voie à éclisses-tables et des voies actuellement employées est contre-balancée par trois causes de réduction de dépense, inhérentes à la première de ces voies et que nous nous hâtons d'exposer et d'évaluer : 1° réduction des frais d'entretien et suppression de la somme considérable affectée au remplacement des traverses; 2° économie sur la quantité de ballast nécessaire; 3° valeur intrinsèque de la voie à éclisses-tables composée uniquement de matériaux dont la dépréciation n'est pas excessive.

La dépense d'entretien de la voie à éclisses-tables devra, ainsi que nous l'avons montré, être moindre que celle des voies actuelles. Vouloir estimer à l'avance cette différence en faveur du rail proposé serait téméraire, et ce chiffre obtenu avec des bases nécessairement incertaines n'ajouterait rien à la valeur que peut avoir notre argumentation. Nous devons donc nous borner à constater cet avantage sans le faire entrer en ligne de compte.

Quant au remplacement des traverses, nous pouvons admettre, d'après les observations faites, qu'une traverse ne dure guère que 10 à 12 ans.

Chaque 10 ans, on a donc à faire une dépense d'au moins 6 fr. par mètre de voie. Cette dépense périodique est équivalente à une dépense annuelle de 49 centimes $\frac{2}{10}$ en calculant à intérêts composés et à 6 0/0, et enfin cette dépense annuelle représente un capital de 8 fr. 20 c., toujours à 6 0/0.

C'est donc une économie de 8 fr. 20 que présente par mètre courant, toutes choses égales d'ailleurs, l'emploi du rail à éclisses-tables sur les systèmes de voie à traverses.

Quant à la question du ballast, avant de s'écrier que la réduction d'épaisseur est toujours une piètre économie, que l'on considère les conditions dans lesquelles se trouvent les voies actuelles, comparées à celles où serait la voie à éclisses-tables.

Sous une voie à coussinets, avec 0m,60 de ballast, il n'y a guère, interposée entre la surface d'appui et le sol, qu'une épaisseur de ballast de 0m,30; cette épaisseur se réduit à 0m,20 dans les voies avec 0m,50 de ballast.

Dans le système à éclisses-tables, en supposant $0^m,60$ d'épaisseur de ballast, il y aurait $0^m,55$ d'épaisseur entre les tables d'appui et le sol, et $0^m,45$ dans le second cas.

Une aussi grande différence dans l'assiette de la voie ne nous permet-elle pas d'admettre, sans présomption ni partialité, la possibilité de réduire l'épaisseur du ballast d'au moins $0^m,15$, ce qui laisserait encore l'assiette du rail à éclisses-tables dans des conditions bien plus avantageuses que celle des voies actuelles?

La réduction des frais de construction de la voie, résultant de ce chef, serait de $4^m,00 \times 1^m,00 \times 0^m,15 \times 3$ fr. $= 1$ fr. 80 par mètre courant de voie simple.

Nous ne parlerons que pour mémoire de la valeur intrinsèque de la voie à éclisses-tables, parce que cet avantage n'est pas important, si on compare cette voie à celle dite américaine.

Nous aurons donc à diminuer du prix trouvé précédemment, soit.		32f 72
1° La somme relative à la diminution d'épaisseur du ballast.	1f 80	
2° La somme représentant le capital équivalent à la dépense du remplacement seul des traverses	8 20	
Soit en tout.	10 00	
Ce qui donne pour le prix réel de la voie à éclisses-tables comparé à celui des autres voies que nous avons évalué et toutes choses égales d'ailleurs.		22 72

Donc, au point de vue des voies neuves à établir, il y aurait économie à adopter le rail à éclisses-tables; cette économie serait sur la voie avec rails Vignole de. 2f 53
et avec rails à coussinets. 5 30

Quittons ce genre d'examen pour nous placer au point de vue d'une compagnie dont la voie à coussinets serait devenue insuffisante par suite de l'augmentation du trafic, du poids croissant des machines, et tout à fait inférieure par rapport aux progrès réalisés dans les pays voisins. Examinons la question de remplacement de cette voie par le rail américain, puis par le système à éclisses-tables.

Pour le remplacement d'une voie à coussinets par une voie Vignole, le prix peut ainsi s'établir pour 6 mètres de voie simple :

2 rails de 6 mètres, pesant 37k,50 pour 12m.....	450k	215f	96f75
2 selles de joint, pesant 2k,13 l'une.....	4,26	350	1,50
28 crampons, — 0 ,30 —	8,40	360	3,02
4 éclisses, — 4 ,60 —	18,40	243	4,47
3 boulons, — 0 ,45 —	3,60	4,26	1,53
Remplacement du tiers des traverses.....			12,00
Dépose de la voie ancienne.....		0,25	1,50
Repose —		0,60	3,60
Total.....			124,37

Dont il faut déduire :

Vieux fer.....	450k	120f	54,00
Vieille fonte.....	108	110	11,88
Vieux bois..... 2 traverses.....		1	2,00
Total.....			67,88

Reste donc une dépense de. 56f 49
pour 6 mètres de voie simple.
Soit par mètre courant. 9 41

Pour l'application du système à éclisses-tables à un rail à double champignon :

m,80 éclisses-tables (doubles), pesant 37k,50.....	361k50	215f	77f72
44 boulons d'éclisses.....	26,40	426	11,25
1 traverse d'écartement.....	22,33	180	4,02
4 boulons pour cette traverse.....	1,44	426	0,61
Dépose de la voie ancienne.....		0,25	1,50
Percement de 44 trous de boulons.....		0,11	4,84
Repose de la voie nouvelle.....		1,00	6,00
Total.....			105,94

Dont il faut déduire :

Vieille fonte.....	108k	110f	11f88
Vieux bois..... 6 traverses.....		1	6,00
Total.....			17,88

Reste donc pour 6 mètres de voie simple une dépense de. 88f 06
Soit par mètre courant. 14 68
Dont il faut retrancher la somme équivalente à la dépense relative au remplacement périodique des traverses, lequel est supprimé. . . . 8 20
Soit donc par mètre courant de voie simple. . 6 48

Ainsi, le remplacement d'une voie à coussinets, par la voie Vignole, coûte. 9 41
Tandis que l'application des éclisses-tables ne coûte que. . . 6 48

Résumons donc l'étude de cette question de dépense en disant que si, pour déterminer le coût d'une voie, l'on tient compte comme il doit être logiquement fait du reste, non-seulement de la dépense brute d'établissement, mais encore de la somme annuellement employée à son entretien capitalisée, la voie à éclisses-tables est moins coûteuse que les voies actuellement employées, et que probablement son usage montrerait que l'avantage qu'elle présente sous ce rapport est plus considérable encore que celui qu'indiquent nos chiffres. Ceux-ci, en effet, ont été impuissants à estimer, dans la mesure de l'exactitude dont nous ne voulons pas nous départir, certaines conditions évidemment favorables à la voie présentée.

Nous savons bien que la voie à éclisses-tables qui, on le voit, présente par le fait une diminution de dépense sur les autres, rencontrera un obstacle à son adoption à cause du surcroît de dépense qu'elle exige au moment de l'établissement.

Cette objection grave et qui, paraît-il, a parfois force de loi, prendrait sa source dans d'impérieuses conditions auxquelles on satisferait entièrement par un mode nouveau de traité avec les usines.

Pourquoi leur payer la valeur intrinsèque d'un métal qui doit leur faire retour? Que les prix à payer lors des fournitures de rails soient calculés en vue d'une rentrée à l'usine, après un temps déterminé de la quantité de métal que ces rails représentent, réduite dans une certaine proportion en vue du déchet, ce métal étant considéré comme vieux fer. Les compagnies acquerraient ainsi uniquement la jouissance et le droit d'user des rails livrés et non en outre et forcément le métal qu'elle ne conserve jamais que temporairement. La valeur de ce dernier, et elle est considérable, resterait en caisse et disponible, au lieu de s'inutiliser en magasin sous forme de rebuts, ainsi que cela a lieu maintenant.

Les usines garantissant l'usage des rails fournis pendant une période de temps déterminée, auraient naturellement intérêt à améliorer la qualité de leurs produits et à soigner la fabrication, le remplacement dans le cours de la période indiquée, de tout rail rebuté, se faisant à leurs frais.

En outre des avantages précités, il résulterait inévitablement d'un pareil état de choses, diminution des chances d'accident, réduction de l'importance du service de la surveillance de fabrication et des réceptions aux usines, simplicité et facilités dans les relations avec les producteurs, et enfin service d'entretien de beaucoup restreint.

Ce sujet mériterait d'être médité et développé. Le faire, serait sortir de notre cadre; nous avons seulement voulu indiquer le moyen possible et avantageux, que nous avons trouvé de parer à une difficulté qu'il faut croire assez réelle si l'on en juge par ses conséquences.

En résumé, l'objection de la dépense est par nous replacée dans ses véritables limites et si elle ne disparaît pas entièrement, elle est loin de

conserver la gravité apparente qu'elle présentait avant une étude approfondie.

2. *Difficultés de fabrication du rail à âme mince ainsi que des éclisses-tables.* — Cette difficulté ne semble pas devoir être prise en considération, quand on examine la fabrication des grands fers à T et cornières du commerce. Les progrès constants que font nos forges ne doivent pas laisser d'appréhension sur la complète résolution du problème qui leur serait soumis. De l'aveu même d'un des plus estimés et des plus grands producteurs de rails de France, la difficulté paraissait si peu sérieuse, qu'il pensait pouvoir fournir cette voie au même prix que les rails ordinaires.

3. *Difficulté de pose en courbes et de remplacement des rails.* — Cette difficulté eût été sérieuse si l'on avait employé des éclisses-tables d'une grande longueur. Il eût fallu, en effet, les courber suivant le sens du champ de la table, et pour remplacer un rail on eût dû démonter entièrement deux éclisses. L'emploi des éclisses-tables par tronçons pare à ces deux inconvénients.

4. *Difficulté de serrage des boulons.* — L'emploi des boulons ordinaires dont l'écrou eût été logé sous la table, n'eût pu être accepté qu'avec un engin spécial de serrage, facile à imaginer du reste, mais qui peut-être eût été plus difficile à employer. Une des solutions qui se présentent à l'esprit, est l'adoption d'un boulon dont l'écrou portant sous une table ne puisse tourner, et dont la tête soit munie d'un prolongement terminé par un carré dépassant le bord de la table. Ajoutons, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que le boulon étant enterré ne tardera pas à se rouiller et que le desserrage des écrous sera d'autant moins à craindre que la voie étant d'une plus grande uniformité, le passage des trains ne devra y produire que de très-faibles trépidations.

5. *Inconvénients résultant de la dilatation.* — L'expérience a montré que dans les voies en fer telles que la voie Barlow, on s'était exagéré les effets fâcheux de la dilatation. Quelle qu'en soit la cause, il ne paraît pas qu'elle ne doive agir de même pour la voie proposée, placée dans des conditions analogues. Il serait bon toutefois de donner aux trous du rail un diamètre trop grand; ce qui, non-seulement, aurait pour effet de permettre les mouvements de dilatation, s'ils tendent à se produire, mais encore donnerait l'assurance que le rail ne porterait jamais sur le corps du boulon.

6. *Règlement de l'inclinaison et difficulté de bourrage du ballast.* — L'emploi qu'on a fait du rail Barlow en France et en Angleterre n'a pas révélé

donnée immédiatement par les entretoises courbées en conséquence.

Il en sera de même pour la voie à éclisses-tables.

Quant au bourrage du ballast, il se fera aussi facilement, si ce n'est plus facilement que sous une traverse, puisque la somme de la largeur des tables est égale à celle d'une traverse ordinaire, et que le corps du rail faisant obstacle entre ces tables facilitera évidemment le tassement du sable.

7. *Déversement des files de rails.* — On a objecté le déversement des files de rails vers l'extérieur sous l'action des efforts transversaux exercés par les boudins des roues, et l'on a cité à l'appui l'exemple du rail Barlow, qui présentait cet inconvénient et courbait ses entretoises; mais le rail Barlow agissait comme on l'a fort bien dit, ainsi qu'un soc de charrue, sa forme permettant parfaitement cet effet, tandis que, dans la voie proposée, une large surface d'appui extérieure combat ce déversement. Ajoutons, de plus, que par suite de la disposition d'assise à la partie supérieure le bras de levier des efforts transversaux est plus faible que dans aucune des voies employées; ce que nous avons dit de la stabilité du système de voie à éclisses-tables répond, du reste, à cette objection.

8. *Glissement de la voie.* — Le glissement dans les parties inclinées de la voie n'est pas à craindre à cause du frottement énorme qu'il développerait, puisque la voie est composée de pièces solidaires les unes des autres. La partie verticale des entretoises tend du reste à l'empêcher.

La voie Barlow, placée sous ce rapport dans des conditions analogues à celles de la voie à éclisses-tables, n'a du reste, que nous sachions, jamais donné apparence de raison à cette objection.

9. *Refoulement du ballast.* — On reproche en général, aux systèmes de voie à support continu, de refouler le ballast à côté de la surface d'appui. Cette opinion serait inexplicable si l'effet en question ne provenait que de l'action des pressions verticales sur les rails; car alors ce même effet devrait se produire également dans les voies à traverses, la surface d'appui par mètre courant étant sensiblement la même dans les deux cas. Il semble que cet effet aurait même dû se produire avec plus d'intensité dans ces dernières, à cause des trépidations plus considérables qui sont les conséquences du support discontinu.

Il faut donc admettre que l'effet de refoulement du ballast provient surtout de la tendance au déversement des voies à supports longitudinaux.

A cet égard, ne sommes-nous pas fondés à penser, en vertu de ce que nous avons dit plus haut, touchant la stabilité du système à éclisses-

tables, que ce glissement du ballast se dérobant sous les surfaces d'appui est beaucoup moins à redouter avec cette voie qu'avec les autres systèmes à supports continus.

10. *Entraînement du ballast.* — Si l'on en vient à supposer, comme on l'a fait, que de fortes pluies entraînent le ballast, quel système de voie pourra subsister? Il est possible que cet effet se produise plus promptement sur une voie à support continu que sur une voie à traverses, mais le fait est malheureusement prouvé, que les traverses aussi sont affouillées et déchaussées par les remous des eaux pluviales, et par suite qu'elles causent d'épouvantables catastrophes. Ce vice ne réside pas *plus* dans telle voie que dans telle autre, mais il a toute sa raison d'être dans la manière dont on établit le sol donné à la voie. Il suffirait de garantir, dans les endroits dangereux, les rives du lit de ballast, par des murs en pierres sèches, ainsi qu'on l'a fait au chemin de Hainaut et Flandre, pour se mettre à l'abri du danger.

L'économie qui résulterait de la réduction possible, dans les voies à support continu, de la largeur du lit de ballast, payerait et au delà, dans les cas ordinaires, la construction du mur défensif.

11. *Écrasement du champignon supérieur.* — On a dit que la saillie intérieure du champignon supérieur, comprimée entre la table et les bandages des roues, s'écraserait par une sorte d'effet de laminage. Cette appréhension est probablement amenée par un attentif examen des voies à coussinets, dans lesquelles on voit souvent cet effet se produire, au-dessus de la mâchoire intérieure des supports. Mais on ne peut en déduire semblable conséquence pour une voie dans laquelle le champignon du rail est soutenu en tous ou en presque tous ses points, parce que la pression ne s'y localise évidemment pas, mais qu'elle se reporte sur une assez grande étendue.

12. *Oxydation des éclisses-tables.* — La conservation des éclisses-tables semble devoir être aussi assurée que celle des rails; car on remarque que les pièces liées à celui-ci, les éclisses ordinaires, par exemple, jouissent tout comme lui de cette faculté de conservation dont la cause n'est pas bien définie, et à laquelle on était si loin de s'attendre.

13. *Déformation des tables.* — Par suite de la pression des roues, on a semblé craindre que les tables ne vinssent à se déformer, à se relever. On pourra toujours facilement, si ces craintes se réalisaient, les faire disparaître en renforçant l'angle de la table et de l'éclisse, et en augmentant la longueur de l'éclisse-table.

14. *Effets fâcheux de la neige amoncelée sur les tables.* — Sur les tables,

la neige est moins à redouter que sur le rail. Elle ne sera jamais assez dure pour qu'un boudin de roue de locomotive ne puisse l'entamer, et n'ajoutera pas plus qu'elle ne retranchera aux embarras qu'elle cause sur les voies actuelles.

Telles sont les objections sérieuses qui nous ont été présentées par les ingénieurs les plus compétents en fait de voies de fer.

Nous espérons que l'examen consciencieux, et aussi complet que nous le permettent nos moyens, fera rapporter quelques jugements précipités qui avaient été portés sur l'éclisse-table, et qu'il fortifiera davantage celles des nombreuses opinions qui lui ont été favorables dès l'abord.

Si, malgré tous les soins que nous avons mis à recueillir et à réunir toutes les observations et objections qui nous ont été faites, il s'en offrait de nouvelles, nous serions heureux de les connaître et d'en discuter la portée. Nous signalons aussi l'importance générale qu'il y aurait, lors d'un essai, à ne pas s'arrêter de prime abord à certaines difficultés d'application qui se présenteraient peut-être et n'auraient pas été prévues, priant les ingénieurs qui les rencontreraient de vouloir bien nous les signaler, et de nous associer aux efforts qu'ils pourraient faire pour les vaincre ou les tourner.

Nul ne s'étonnera de ne pas nous voir terminer cette note sans donner acte de cette foi robuste en son œuvre qui caractérise l'inventeur. Elle se trouve en nous encore fortifiée par les réflexions et les discussions qu'a nécessitées la rédaction de cette note. C'est surtout en mettant en regard la rareté toujours croissante des bois, l'insuffisance ou le prix élevé des moyens employés pour leur conservation, l'infériorité reconnue dans laquelle est restée la voie, relativement aux autres parties de ce qui constitue une ligne de fer, et en même temps la facilité que nous avons indiquée d'éviter les embarras toujours redoutés que cause un excès de dépense dans les prix d'établissement, que nous comptons sur la sagacité des ingénieurs de chemins de fer pour mettre à profit les avantages que promet l'éclisse-table.

NOTA. — Voir la discussion relative à ce Mémoire, page 173, *Bulletin* du 2e trimestre, séance du 24 avril 1863.

EXPÉRIENCES

SUR LES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DES CHEMINÉES DE LOCOMOTIVES

faites au chemin de fer du Nord,

SOUS LA DIRECTION DE M. J. PETIET,

PAR MM. A. NOZO ET O. GEOFFROY.

I. — Exposé des expériences.

Les expériences avaient pour but de rechercher les conditions à remplir dans l'établissement des échappements et des cheminées des locomotives pour obtenir le plus grand tirage possible, avec la plus faible contre-pression dans les cylindres[1].

Des recherches, faites directement sur une machine, auraient présenté de très-grandes difficultés. On a donc été conduit à employer des appareils de dimensions réduites, dont il était plus facile de faire varier les éléments dans des limites étendues.

Or, dans une locomotive, le tirage produit par l'échappement dépend des éléments ci-après :

1° Résistances à travers la grille, dans les tubes et à l'entrée de la cheminée.

2° Quantité de vapeur qui s'écoule par l'échappement.

3° Pression génératrice de la vitesse de la vapeur qui s'échappe, autrement dit contre-pression dans les cylindres.

4° Hauteur, ou mieux, longueur de la cheminée.

5° Distance de l'échappement à l'orifice de la cheminée.

6° Rapports entre les sections de passage de fumée d'échappement et de cheminée.

C'est donc sur les relations qui peuvent exister entre ces divers éléments, que les expériences ont porté.

Quoique l'intermittence des échappements ne soit peut-être pas tout à fait sans influence sur le tirage, on a admis néanmoins : que les coups

1. Les expériences ont été entreprises dès le mois de novembre 1860. Un résumé très-sommaire des premiers résultats obtenus se trouve inséré dans le Bulletin de la Société de juillet, août et septembre 1862, page 342.

étaient assez rapprochés pour qu'on puisse considérer l'écoulement de la vapeur comme presque continu et la pression dans le tuyau d'échappement comme presque uniforme. Dans les expériences, on a donc cru pouvoir substituer aux échappements alternatifs un jet de vapeur continu.

II. — Description de l'appareil d'expérimentation employé.

L'appareil (*fig.* 1, pl. 32) se compose d'une boîte A, ayant une capacité de 320 litres, placée verticalement près d'une chaudière de locomotive B, servant de générateur de vapeur.

La boîte A est reliée à la boîte à fumée B de la locomotive, par un conduit C de 1 mètre de longueur, et 0,250 de diamètre, dans lequel on mesure la vitesse des gaz chauds aspirés de la boîte à fumée B, à l'aide d'un anémomètre D; installé à peu près à égale distance des extrémités du conduit C; là où, par conséquent, le régime d'écoulement se trouve établi de la manière la plus régulière. Un carreau de vitre E, placé en face de l'anémomètre, permet de lire les indications de l'appareil.

Entre la boîte A et le conduit C, on a interposé successivement diverses plaques de tôle F percées de trous de même diamètre, mais en nombres différents, et uniformément répartis sur la surface de chaque plaque, de manière à composer diverses sections de passage aux gaz aspirés.

La face supérieure de la boîte A est percée d'un orifice à bride, sur lequel on peut successivement placer des cheminées de diverses sections. Ces cheminées sont formées d'anneaux cylindriques en tôle, glissant à frottement les uns dans les autres, de manière à varier facilement les hauteurs.

La face inférieure de la boîte A est traversée par le tuyau d'échappement G, qui glisse à frottement doux dans son emmanchement K, pour modifier à volonté la distance de l'orifice de l'échappement à celui de la cheminée. La partie supérieure du tuyau G est filetée pour recevoir des cônes d'échappement de sections différentes.

Le tuyau G communique avec un réservoir spécial M, d'une capacité de 320 litres, que nous *appellerons réservoir d'échappement*, et dans lequel la pression de la vapeur est maintenue rigoureusement constante pendant la durée de chaque observation. Pour maintenir cette constance dans la pression, on a monté une vanne N sur le tuyau O, amenant la vapeur du régulateur R de la locomotive, et un robinet P sur le réservoir d'échappement.

Un manomètre à mercure S indique la pression dans le réservoir M; un autre manomètre S', la dépression dans la boîte A.

La température des gaz aspirés est donnée par un thermomètre T placé dans le conduit d'aspiration un peu en avant de l'anémomètre [1].

1. L'anémomètre D est du système imaginé par M. Combes et construit par M. Neumann. Il se compose de quatre ailettes carrées, montées sur un arbre et inclinées comme le sont les

La cheminée de la chaudière, employée comme générateur, a été prolongée jusqu'au delà du toit de l'atelier, et présentait une hauteur de 6m,50. Le tirage naturel de cette cheminée a suffi pour produire la quantité de vapeur nécessaire aux expériences.

Il n'a pas été tenu compte de la dépression dans la boîte à fumée du générateur, qui était à peu près constante, et représentée par 2 à 3 millimètres d'eau.

En résumé, on voit que l'on peut, au moyen de l'appareil installé, faire varier ensemble ou séparément la section de passage de l'air, la hauteur de la cheminée, la section de l'échappement et sa distance à l'orifice de la cheminée; enfin, la pression dans le réservoir d'échappement.

ailettes de moulins à vent; une vis sans fin, montée sur l'arbre des ailettes, peut, à volonté, être mise en relation avec les roues dentées d'un compteur, à l'aide d'un système d'embrayage spécial.

Du nombre de tours par seconde à l'arbre des ailettes, on déduit la vitesse des gaz dans le conduit d'aspiration G au moyen de la formule

$$V = 0.156 + 0.265\, n.$$

Cette formule spéciale à l'anémomètre suppose que la température de l'air est zéro; mais, pour les températures de l'atmosphère, variant dans les limites ordinaires, le coefficient 0.156 doit être multiplié par la quantité $\frac{1}{\sqrt{d}}$; d étant la densité de l'air sous la pression barométrique à la température à laquelle on opère.

Dans beaucoup de cas, n est assez grand pour que l'on puisse, sans altérer les conclusions, admettre que V est proportionnel à n, et, par conséquent, que le volume d'air qui passe est aussi proportionnel à n, lorsque la section reste la même.

Jusqu'alors, l'anémomètre n'avait été que très-rarement employé à mesurer la vitesse des gaz à une température aussi élevée que dans nos expériences, où elle atteignait 180°.

Quelques essais préalables ont permis de constater que la formule ci-dessus était encore applicable dans ces conditions de température.

Le poids de vapeur dépensé a été calculé par la formule $Q = 0{,}9\, Sp\sqrt{2g\frac{P}{p}}$, dans laquelle P est la pression génératrice par mètre carré, p le poids du mètre cube de vapeur qui s'écoule, et S la section de l'échappement.

On a supposé que la vapeur s'écoulait dans un milieu à la pression atmosphérique, ce qui n'est pas tout à fait exact; et que la densité de la fumée était égale à la densité de l'air.

Il est bon de remarquer, en outre, que les observations manométriques, malgré la précaution prise pour placer les tubes de communication normalement au courant du gaz, ne représentaient peut-être pas très-exactement la pression des gaz en mouvement; qu'enfin, les suppositions relatives à la pression du milieu dans lequel s'écoulait la vapeur et à la densité des gaz aspirés étaient un peu arbitraires, mais ces diverses causes d'erreurs n'ont qu'une influence secondaire sur les résultats pratiques cherchés, attendu qu'il s'agissait moins d'établir d'une manière absolue les quantités d'air appelées, dans certaines conditions données, que de comparer ces quantités entre elles, lorsqu'on fait varier les éléments de l'expérience.

Ces éléments ont, en effet, varié dans les limites suivantes :

				mill.
Section de passage de l'air aspiré à travers une plaque percée de trous	Maxima,	320 trous de		0,009
	Minima,	20	—	0,009
Diamètres de l'échappement	Maximum,	—	—	0,056
	Minimum,	—	—	0,010
Diamètre de la cheminée	Maximum,	—	—	0,202
	Minimum,	—	—	0,035
Pression de la vapeur (exprimée en millimètres de mercure)	Maxima,	—	—	0,600
	Minima,	—	—	0,050

III. — De l'influence de la hauteur ou de la longueur de la cheminée sur le tirage.

Pour rechercher l'influence de la hauteur, ou mieux, de la longueur de la cheminée sur le tirage, on a fait varier successivement la pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement, les sections de passage de la fumée, de l'échappement et de la cheminée.

Dans chaque cas, on variait la hauteur de la cheminée, et l'on notait la quantité d'air appelé et la dépression correspondante dans la boîte à fumée; les résultats obtenus ont été représentés par des courbes analogues à celles de la figure 2, dans lesquelles les abscisses représentent les hauteurs des cheminées et les ordonnées, les dépressions dans la boîte à fumée.

L'examen de ces courbes a montré que la hauteur de la cheminée, qui donne le maximum de dépression, ou autrement dit le maximum de tirage, est indépendante de la section F de passage des gaz, de celle de l'échappement et de la pression de la vapeur, mais qu'elle dépend uniquement du diamètre, et doit être égale à environ 6 à 8 fois ce diamètre.

Une plus grande longueur n'a plus qu'une faible influence, soit en plus, soit en moins.

Sans rappeler toutes les expériences faites, nous donnons (*fig.* 2) à titre d'exemple, les résultats obtenus avec une section de passage de 160 trous de 0.009^{mm}, un échappement de 0.040 de diamètre, des pressions de vapeur passant successivement par 0.050, 0.200 et 0.300^{mm} de mercure, et une cheminée de 0.143 de diamètre, ayant varié de longueur, pour chaque pression, de 0^{m}.200 à 2^{m}.500.

Il résulte, évidemment, de l'inspection de cette figure, que le maximum de tirage est atteint lorsque la cheminée a pour longueur un mètre, ou environ 7 fois son diamètre.

IV. — De l'influence d'une embase conique.

On a recherché quelle pouvait être l'influence de l'embase conique qu'on place ordinairement à la partie inférieure des cheminées.

Les expériences faites avec des cheminées de longueurs convenables, avec ou sans embase, n'ont donné aucune différence sensible dans les poids d'air appelé.

V. — De l'influence de la distance de l'orifice de l'échappement à l'entrée de la cheminée.

On a déterminé, pour diverses combinaisons de diamètres de cheminées, de sections de passage et d'échappements, les quantités d'air appelées par l'échappement placé à diverses distances de l'entrée de la cheminée, dont la longueur était toujours égale à 8 fois le diamètre.

Les résultats ont montré que l'influence de la distance de l'orifice de l'échappement à l'orifice de la cheminée ne se faisait pas *sentir tant que* cette distance ne dépasse pas une certaine limite, mais qu'au delà la quantité d'air appelé décroît très-rapidement.

La distance pour laquelle la quantité d'air appelé reste à peu près constante paraît indépendante de la pression de la vapeur; pour un même échappement, elle augmente avec le diamètre de la cheminée.

Ainsi, dans les expériences faites avec des échappements de 10 à 40^{mm} de diamètre, la distance pour laquelle la quantité d'air appelé reste constante est comprise entre les chiffres suivants :

0^{m}.500 à 0^{m}.650	pour une cheminée de	0^{m}.200.
0. 300 à 0. 400	—	0. 143.
0. 110 à 0. 150	—	0. 101.
0. 070 à 0. 080	—	0. 071.
0. 050 à 0. 070	—	0. 050.
0. 020 à 0. 070	—	0. 035.

On a recherché ensuite l'influence que pouvait avoir la pénétration de l'échappement dans l'intérieur de la cheminée (toujours de longueur égale à 8 fois le diamètre), et l'on a reconnu que la diminution de tirage était faible jusqu'à une pénétration de deux diamètres environ; mais, qu'au delà, la diminution devenait sensible, et qu'elle pouvait être attribuée à la diminution de hauteur de la cheminée.

VI. — De l'influence de la pénétration de la cheminée dans l'intérieur de la boîte à fumée.

La pénétration dans la boîte à fumée d'une cheminée de longueur égale à 6 ou 8 fois le diamètre, en supposant que l'orifice d'échappement reste à la même distance de l'entrée de la cheminée, est sans influence sur la quantité d'air appelé, tant que cette pénétration ne descend pas au-dessous du plan supérieur des orifices d'arrivée d'air; mais, en allant au delà de cette limite, l'appel d'air diminue très-notablement.

VII. — Des cheminées ordinaires comparées aux cheminées multiples.

Pour vérifier la possibilité d'appliquer les résultats des expériences aux locomotives, on a d'abord cherché si, en faisant varier dans le même rapport les éléments des expériences, les résultats étaient comparables entre eux. On a pris, à cet effet, une série de sections de passage d'air chaud, d'échappements et de cheminées, dans des rapports analogues à ceux existants, sur les locomotives, puis des sections multiples de celles-ci, et l'on a constaté les dépressions et les poids d'air appelé dans chaque cas.

L'expérience a montré que, pour chaque pression dans le réservoir d'échappement, les poids d'air appelé étaient dans le même rapport que les sections, et qu'on obtenait sensiblement les mêmes dépressions dans la boîte à fumée, tant que les relations entre les sections restaient les mêmes.

De là on a été conduit à penser : qu'en écartant les influences relatives aux longueurs des cheminées et à la distance de l'échappement à l'orifice inférieur, si l'on expérimentait comparativement une même section de passage *avec cheminée unique et échappement unique ; puis un groupe de petites cheminées, de section totale égale à la cheminée unique*, dans chacune desquelles viendrait déboucher un échappement spécial, on devrait sans doute trouver des poids d'air appelé égaux et des dépressions égales dans l'un et dans l'autre cas.

Une expérience faite en prenant d'une part : une cheminée unique avec échappement unique; puis d'autre part et conformément au dessin (*fig.* 3) : un groupe de huit cheminées avec huit échappements de sections totales respectivement égales, a permis de constater que les prévisions énoncées se vérifiaient assez exactement, ainsi qu'on le voit par les chiffres du tableau A ci-dessous :

TABLEAU A.

CONDITIONS des EXPÉRIENCES.	1° CHEMINÉE UNIQUE.	
	Section de passage de l'air aspiré	160 trous de 9mm.
	Diamètre de l'échappement	40 millimètres.
	Diamètre de la cheminée	140 —
	Hauteur de la cheminée	1m,120.
	2° CHEMINÉE MULTIPLE.	
	Section de passage de l'air aspiré	160 trous de 9mm.
	Diamètre de chacun des huit échappements	14 millimètres.
	Diamètre de chacune des huit cheminées	50,5 —
	Hauteur des huit cheminées	400 —

PRESSION de la vapeur en millimètres de mercure dans le réservoir d'échappement.	DÉPRESSION en millimètres d'eau dans la boîte à fumée d'expérience.	NOMBRE de tours de l'anémomètre pendant deux minutes.	TEMPÉRATURE de l'air aspiré.	POIDS en grammes de l'air aspiré.
		1° CHEMINÉE UNIQUE.		
300	141	4362	166°	384ᵍ
250	115	4056	160	359
200	93	3605	160	327
150	64	3155	158	287
100	43	2459	156	217
50	28	1616	152	150
		2° CHEMINÉE MULTIPLE.		
300	119	4178	177°	368ᵍ
250	96	3724	174	329
200	75	3335	173	295
150	57	2778	170	249
100	40	2327	160	209
50	20	1675	157	153

On voit cependant par le tableau que la cheminée multiple a appelé un peu moins d'air que la cheminée unique ; il est d'ailleurs probable *que*, si l'on avait augmenté le nombre des cheminées partielles, les différences eussent encore été plus grandes.

Il est bon d'insister sur ce fait que, pour faire produire à la cheminée multiple son maximum d'effet, il a suffi de lui donner une hauteur égale à 6 ou 8 fois le diamètre des cheminées partielles.

VIII. — **De l'influence de la section de la cheminée sur le tirage.**

Lorsqu'avec une même section de passage d'air, une même section d'échappement et une même pression dans le réservoir d'échappement, on essaye successivement des cheminées de diverses sections, ayant chacune pour longueur environ 8 fois le diamètre, on voit que les quantités d'air appelé, avec les diverses cheminées et les dépressions correspondantes dans la boîte à fumée. passent par un maximum, c'est-à-dire qu'il y a une section de cheminée qui fait produire le maximum d'appel.

Nous donnons pour exemple dans le tableau ci-dessous, et la figure 4 qui en est la traduction graphique, les résultats obtenus avec une section

de passage de 160 trous de 9 millimètres de diamètre; un échappement de 14 millimètres de diamètre, une pression de vapeur dans le réservoir d'échappement de 600 millimètres de mercure et dix cheminées de différents diamètres :

TABLEAU B.

DIMENSIONS DES CHEMINÉES ESSAYÉES.			POIDS EN GRAMMES d'air appelé par seconde à travers la section de passage.	DÉPRESSION en millimètres d'eau dans la boîte à fumée.
Diamètre.	Hauteur.	Section.		
0.202	1.600	0.0320	224^{g}.29	48 mill.
0.175	1.200	0.0240	255 .86	62 —
0.143	1.150	0.0160	278 .12	76 —
0.124	1.000	0.0120	280 .16	78 —
0.101	0.800	0.0080	265 .23	62 —
0.080	0.700	0.0060	240 .43	52 —
0.071	0.550	0.0040	202 .46	41 —
0.062	0.500	0.0030	174 .18	28 —
0.050	0.400	0.0020	140 .79	17 —
0.036	0.300	0.0010	82 .11	9 —

Les deux courbes A et B (fig. 4) sont obtenues en portant comme abscisses les sections de cheminées et comme ordonnées d'une part, pour la courbe A, les quantités d'air appelé, et d'autre part, pour la courbe B, les dépressions dans la boîte à fumée.

Il est facile de voir, par la forme des courbes, que c'est la cheminée de 0^{mq}.,130 qui fait produire à la combinaison de section de passage, de section d'échappement et de pression de vapeur, qui nous occupe, le maximum d'appel d'air et aussi le maximum de dépression dans la boîte à fumée.

Il y a lieu de remarquer encore que la section de la cheminée peut varier de quantités assez notables dans le voisinage du maximum, sans avoir une grande influence sur la quantité d'air appelé.

Ce premier fait étant bien établi, on s'est demandé comment variait : 1° la section de la cheminée donnant le maximun d'appel; 2° la quantité d'air appelé avec cette cheminée; 3° la dépression dans la boîte à fumée, et 4° le rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée, lorsque, sur les trois éléments du tirage, section de passage, pression de vapeur dans le réservoir ou vitesse de sortie à l'échappement, et section d'échappement, on faisait varier l'un des éléments en laissant les deux autres constants.

Pour arriver à ce but, on a fait un grand nombre de combinaisons de ces trois éléments, et on a déterminé, pour chaque cas, la section de la

cheminée qui fait produire le maximum d'appel, comme il vient d'être dit dans l'exemple pages 452 et 453 (fig. 4).

Dans une des séries d'expériences, on a combiné de toutes les manières possibles les éléments suivants :

4 Échappements de diamètres.	$0^{m},010$ 0 ,014 0 ,020 0 ,028
4 Sections de passage composées de plaques percées de trous de $0,009^{mm}$ de diamètre.	20 trous. 40 — 160 — 320 —
3 Pressions de vapeur exprimées en milimètres de mercure.	$0,050^{mm}$ 0 ,200 0 ,600

Pour chaque combinaison des divers éléments ci-dessus, on a déterminé la cheminée qui fait produire le maximum d'appel, comme nous l'avons dit page 453 (fig. 4), en essayant successivement les dix cheminées suivantes :

Diamètre,	0,202	Hauteur,	1,600
—	0,175	—	1,200
—	0,143	—	1,150
—	0,124	—	1,000
—	0,101	—	0,800
—	0,080	—	0,700
—	0,071	—	0,550
—	0,062	—	0,500
—	0,050	—	0,400
—	0,035	—	0,300

Les cheminées donnant pour chaque cas : 1° le maximum d'appel ; 2° les quantités d'air appelé; 3° les dépressions correspondantes dans la boîte à fumée; et 4° les rapports du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée, sont données dans les trois tableaux C, D et E.

Tableau C.

OBSTACLE au passage de fumée.		ÉCHAPPEMENT.		Pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement en millimètres de mercure.	Poids de vapeur dépensé, déterminé par le calcul.	Section de la cheminée donnant le maximum d'appel d'air. Déterminée par expérience.	Dépression correspondante dans la boîte à fumée d'expér. en mill. d'eau.	Poids d'air appelé par seconde en grammes.	Poids d'air aspiré par seconde et par mètre q. de section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de l'échappement.	Rapport de la section de passage à la section de l'échappement.	Rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée.
DÉSIGNATION.	SECTION DE PASSAGE.	DIAMÈTRE.	SECTION.										
Plaque percée de 20 trous de 0m.009 de diamètre.	0.001272	0.0282	0.000628	50	gr. 51.54	mq. 0.0036	82	gr. 41.03	k. 35.485	2.73	5.74	2.00	0.800
				200	110.35	0.0036	337	91.12	72.524	2.73	5.74	2.00	0.825
				400	170.40	0.0036	663	115.75	90.982	2.73	5.74	2.00	0.675
				600	225.90	0.0036	786	125.00	94.458	2.73	5.74	2.00	0.555
		0.020	0.000314	50	25.77	0.0034	60	37.25	29.280	2.68	10.81	4.00	1.444
				200	55.17	0.0034	253	71.02	55.982	2.68	10.81	4.00	1.016
				600	112.95	0.0034	650	111.35	87.624	2.68	10.81	4.00	0.988
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0025	32	27.62	21.621	1.97	15.92	8.00	2.150
				200	27.08	0.0025	135	55.25	43.435	1.97	15.92	8.00	2.050
				600	56.47	0.0025	384	92.42	72.732	1.97	15.92	8.00	1.640
		0.010	0.000078	50	6.44	0.0022	23	»	»	1.73	28.20	16.00	»
				200	13.54	0.0022	80	41.20	32.385	1.73	28.20	16.00	3.042
				600	28.23	0.0022	206	67.19	52.983	1.73	28.20	16.00	2.376
Plaque percée de 40 trous de 0.009 de diamètre.	0.002544	0.0282	0.000628	50	51.54	0.0055	65	70.04	27.521	1.96	8.80	4.00	1.360
				200	110.35	0.0055	202	108.51	42.625	1.96	8.80	4.00	0.983
				600	225.90	0.0055	682	162.75	63.995	1.96	8.80	4.00	0.740
		0.020	0.000314	50	25.77	0.0047	42	62.43	24.682	1.85	14.99	8.00	2.426
				200	55.17	0.0047	174	111.52	43.621	1.85	14.99	8.00	2.030
				600	112.95	0.0047	435	148.75	58.395	1.85	14.99	8.00	1.322
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0045	26	46.14	18.134	1.57	25.49	16.00	3.755
				200	27.08	0.0045	100	83.69	32.892	1.57	25.49	16.00	3.085
				600	56.47	0.0045	256	128.82	50.629	1.57	25.49	16.00	2.295
		0.010	0.000078	50	6.44	0.0032	17	35.20	13.832	1.26	41.00	32.00	5.442
				200	13.54	0.0032	48	65.35	25.682	1.26	41.00	32.00	4.825
				600	28.23	0.0032	135	100.28	39.410	1.26	41.00	32.00	3.554
Plaque percée de 160 trous de 0.009 de diamètre.	0.010178	0.0282	0.000628	50	51.54	0.0145	27	170.52	16.753	1.43	23.15	16.00	3.315
				200	110.35	0.0145	84	295.04	29.000	1.43	23.15	16.00	2.675
				600	225.90	0.0145	255	488.31	48.012	1.43	23.15	16.00	2.156
		0.020	0.000314	50	25.77	0.0135	18	148.60	14.632	1.33	43.12	32.00	5.721
				200	55.17	0.0135	60	235.12	23.150	1.33	43.12	32.00	4.255
				600	112.95	0.0135	153	387.74	38.195	1.33	43.12	32.00	3.445
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0130	12	114.87	11.284	1.28	82.81	64.00	8.852
				200	27.08	0.0130	32	184.60	18.200	1.28	82.81	64.00	6.832
				600	56.47	0.0130	79	280.20	27.519	1.28	82.81	64.00	4.976
		0.010	0.000078	50	6.44	0.0120	7	69.26	6 819	1.18	154.00	128.00	10.785
				200	13.54	0.0120	14	131.23	12.932	1.18	154.00	128.00	9.712
				600	28.23	0.0120	37	194.24	19.125	1.18	154.00	128.00	6.885
Plaque percée de 320 trous de 9 millimil. de diamètre.	0m.020355	0m.010	0mq.000078	50	6.44	0.0250	6	104.58	5.162	1.23	320.12	256.00	16.270
				200	13.54	0.0250	10	178.03	8.868	1.23	320.12	256.00	13.162
				600	28.23	0.0250	19	310.65	15.258	1.23	320.12	256.00	11.000

Tableau D.

OBSTACLE au passage de fumée.		ÉCHAPPEMENT.											
DÉSIGNATION.	SECTION DE PASSAGE.	DIAMÈTRE.	SECTION.	Pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement en millimètres de mercure.	Poids de vapeur dépensée, déterminé par le calcul.	Section de la cheminée donnant le maximum d'appel d'air. Déterminée par expérience.	Dépression correspondante dans la boîte à fumée d'exper. en mill. d'eau.	Poids d'air appelé par seconde en grammes.	Poids d'air aspiré par seconde et par mètre q. de section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de l'échappement.	Rapport de la section de passage à la section de l'échappement.	Rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensé.
					gr.	mq.		gr.	k.				
Plaque percée de 20 trous de 0m.009 de diamètre.	0.001272	0.0282	0.000628	50	51.54	0.0036	82	41.03	35.485	2.73	5.74	2.00	0.800
		0.0200	0.000314	50	25.77	0.0034	60	37.25	29.280	2.68	10.81	4.00	1.441
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0025	32	27.62	21.621	1.97	15.92	8.00	2.150
		0.0100	0.000078	50	6.44	0.0022	23	»	»	1.73	28.20	16.00	»
		0.0282	0.000628	200	110.35	0.0036	337	91.12	72.524	2.73	5.74	2.00	0.825
		0.0200	0.000314	200	55.17	0.0034	253	71.02	55.982	2.68	10.81	4.00	1.016
		0.0141	0.000157	200	27.08	0.0025	135	55.25	43.485	1.97	15.92	8.00	2.050
		0.0100	0.000078	200	13.54	0.0022	80	41.20	32.385	1.73	28.20	16.00	3.042
		0.0282	0.000628	400	170.40	0.0036	663	115.75	90.982	2.73	5.74	2.00	0.675
		0.0282	0.000628	600	225.90	0.0036	786	125.00	94.458	2.73	5.74	2.00	0.555
		0.0200	0.000314	600	112.95	0.0034	650	111.35	87.624	2.68	10.81	4.00	0.988
		0.0141	0.000157	600	56.47	0.0025	384	92.42	72.732	1.97	15.92	8.00	1.640
		0.0100	0.000078	600	28.23	0.0022	206	67.19	52.983	1.73	28.20	16.00	2.376
Plaque percée de 40 trous de 0m.009 de diamètre.	0.002544	0.0282	0.000628	50	51.54	0.0055	65	70.04	27.521	1.96	8.80	4.00	1.360
		0.0200	0.000314	50	25.77	0.0047	42	62.43	24.682	1.85	14.99	8.00	2.426
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0045	26	46.14	18.134	1.57	25.49	16.00	3.755
		0.0100	0.000078	50	6.44	0.0032	17	35.20	13.832	1.26	41.00	32.00	5.442
		0.0282	0.000628	200	110.35	0.0055	202	108.51	42.625	1.96	8.80	4.00	0.983
		0.0200	0.000314	200	55.17	0.0047	174	111.52	43.621	1.85	14.99	8.00	2.030
		0.0141	0.000157	200	27.08	0.0045	100	83.69	32.892	1.57	25.49	16.00	3.085
		0.0100	0.000078	200	13.54	0.0032	48	65.35	25.682	1.26	41.00	32.00	4.825
		0.0282	0.000628	600	225.90	0.0055	682	162.75	63.995	1.96	8.80	4.00	0.740
		0.0200	0.000314	600	112.95	0.0047	435	148.75	58.395	1.85	14.99	8.00	1.322
		0.0141	0.000157	600	56.47	0.0045	256	128.82	50.629	1.57	25.49	16.00	2.295
		0.0100	0.000078	600	28.23	0.0032	135	100.28	39.410	1.26	41.00	32.00	3.554
Plaque percée de 160 trous de 0m.009 de diamètre.	0.010178	0.0282	0.000628	50	51.54	0.0145	27	170.52	16.753	1.43	23.15	16.00	3.315
		0.0200	0.000314	50	25.77	0.0135	18	148.60	14.632	1.33	43.12	32.00	5.721
		0.0141	0.000157	50	12.88	0.0130	12	114.87	11.284	1.28	82.81	64.00	8.852
		0.0100	0.000078	50	6.44	0.0120	7	69.26	6.819	1.18	154.00	128.00	10.785
		0.0282	0.000628	200	110.35	0.0145	84	295.04	29.000	1.43	23.15	16.00	2.675
		0.0200	0.000314	200	55.17	0.0135	60	235.12	23.150	1.33	43.12	32.00	4.255
		0.0141	0.000157	200	27.08	0.0130	32	184.60	18.200	1.28	82.81	64.00	6.832
		0.0100	0.000078	200	13.54	0.0120	14	131.23	12.932	1.18	154.00	128.00	9.712
		0.0282	0.000628	600	225.90	0.0145	255	488.31	48.012	1.43	23.15	16.00	2.156
		0.0200	0.000314	600	112.95	0.0135	153	387.74	38.195	1.33	43.12	32.00	3.445
		0.0141	0.000157	600	56.47	0.0130	79	280.20	27.519	1.28	82.81	64.00	4.976
		0.0100	0.000078	600	28.23	0.0120	37	194.24	19.125	1.18	154.00	128.00	6.885
Plaque percée de 380 trous de 0,009 de diamètre.	0m.020355	0.0100	0.000078	50	6.44	0.0250	6	104.58	5.162	1.23	320.12	256.00	16.270
		0.0100	0.000078	200	13.54	0.0250	10	178.03	8.868	1.23	320.12	256.00	13.162
		0.0100	0.000078	600	28.23	0.0250	19	310.65	15.258	1.23	320.12	256.00	11.009

Tableau E.

OBSTACLE au passage de fumée.		ÉCHAPPEMENT.		Pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement en millimètres de mercure.	Poids de vapeur dépensé donné par le calcul.	Section de la cheminée donnant le maximum d'appel d'air. Déterminée par expérience.	Dépression correspondante dans la boîte à fumée d'expér. en mill. d'eau.	Poids d'air appelé par seconde en grammes.	Poids d'air aspiré par seconde et par mètre q. de section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de passage.	Rapport de la section de la cheminée à la section de l'échappement.	Rapport de la section de passage à la section de l'échappement.	Rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensé.
DÉSIGNATION.	SECTION DE PASSAGE.	DIAMÈTRE.	SECTION.										
Trous de 9 mill.					gr.	mq.		gr.	k.				
20	0.001272	0.028	0.000628	50	51.54	0.0036	82	41.03	35.485	2.73	5.74	2.00	0.800
40	0.002544	0.028	0.000628	50	51.54	0.0055	65	70.04	27.521	1.96	8.00	4.00	1.360
160	0.010178	0.028	0.000628	50	51.54	0.0145	27	170.52	16.763	1.43	23.15	16.00	3.315
20	0.001272	0.028	0.000628	200	110.35	0.0036	337	91.12	72.524	2.73	5.74	2.00	0.825
40	0.002544	0.028	0.000628	200	110.35	0.0055	202	108.51	42.625	1.96	8.80	4.00	0.983
160	0.010178	0.028	0.000628	200	110 35	0.0145	84	295.04	29.000	1.43	23.15	16.00	2.675
20	0.001272	0.028	0.000628	400	170.40	0.0036	663	115.75	90.982	2.73	5.74	2.00	0.675
20	0.001272	0.028	0.000628	600	225.90	0.0036	786	125.00	94.458	2.73	5.74	2.00	0.555
40	0.002544	0.028	0.000628	600	225.90	0.0055	682	162.75	63.995	1.96	8.80	4.00	0.740
160	0.010178	0.028	0.000628	600	225.90	0.0145	255	488.31	48.012	1.43	23.15	16.00	2.156
20	0.001272	0.020	0.000314	50	25.77	0.0034	60	37.25	29.280	2.68	10.81	4.00	1.444
40	0.002544	0.020	0.000314	50	25.77	0.0047	42	62.43	24.682	1.85	14.99	8.00	2.426
160	0.010178	0.020	0.000314	50	25.77	0.0135	18	148.60	14.632	1.33	43.12	32.00	5.721
20	0.001272	0.020	0.000314	200	55.17	0.0034	253	71.02	55.982	2.68	10.81	4.00	1.016
40	0.002544	0.020	0.000314	200	55.17	0.0047	174	111.52	43.621	1.85	14.99	8.00	2.030
160	0.010178	0.020	0.000314	200	55.17	0.0135	60	235.12	23.150	1.33	43.12	32.00	4.255
20	0.001272	0.020	0.000314	600	112.95	0.0034	650	111.35	87.624	2.68	10.81	4.00	0.988
40	0.002544	0.020	0.000314	600	112.95	0.0047	435	148.75	58.395	1.85	14.99	8.00	1.322
160	0.010178	0.020	0.000314	600	112.95	0.0135	153	387.74	38.195	1.33	43.12	32.00	3.445
20	0.001272	0.014	0.000157	50	12.88	0.0025	32	27.62	21.621	1.97	15.92	8.00	2.150
40	0.002544	0.014	0.000157	50	12.88	0.0045	26	46.14	18.134	1.57	25.49	16.00	3.755
160	0.010178	0.014	0.000157	50	12.88	0.0130	12	114.87	11.284	1.28	82.81	64.00	8.852
20	0.001272	0.014	0.000157	200	27.08	0.0025	135	55.25	43.485	1.97	15.92	8.00	2.050
40	0.002544	0.014	0.000157	200	27.08	0.0045	100	83.69	32.892	1.57	25.49	16.00	3.085
160	0.010178	0.014	0.000157	200	27.08	0.0130	32	184.60	18.200	1.28	82.81	64.00	6.832
20	0.001272	0.014	0.000157	600	56.47	0.0025	384	92.42	72.732	1.97	15.92	8.00	1.640
40	0.002544	0.014	0.000157	600	56.47	0.0045	256	128.82	50.629	1.57	25.49	16.00	2.295
160	0.010178	0.014	0.000157	600	56.47	0.0130	79	280.20	27.519	1.28	82.81	64.00	4.976
20	0.001272	0.010	0.000078	50	6.44	0.0022	23	»	»	1.73	28.20	16.00	»
40	0.002544	0.010	0.000078	50	6.44	0.0032	17	35.20	13.832	1.26	41.00	32.00	5.442
160	0.010178	0.010	0.000078	50	6.44	0.0120	7	69.26	6.819	1.18	154.00	128.00	10 785
320	0.020355	0.010	0.000078	50	6.44	0.0250	6	104.58	5.162	1.23	320.12	256.00	16.270
20	0.001272	0.010	0.000078	200	13.54	0.0022	80	41.20	32.385	1.73	28.20	16.00	3.042
40	0.002544	0.010	0.000078	200	13.54	0.0032	48	65.35	25.632	1.26	41.00	32.00	4.825
160	0.010178	0.010	0.000078	200	13.54	0.0120	14	131.23	12.932	1.18	154.00	128.00	9.712
320	0.020355	0.010	0.000078	200	13.54	0.0250	10	178.03	8.868	1.23	320.12	256.00	13.162
20	0.001272	0.010	0.000078	600	28.23	0.0022	206	67.19	52.983	1.73	28.20	16.00	2.376
40	0.002544	0.010	0.000078	600	28.23	0.0032	135	100.28	39.410	1.26	41.00	32.00	3.554
160	0.010178	0.010	0.000078	600	28.23	0.0120	37	194.24	19.125	1.18	154.00	128.00	6.885
320	0.020355	0.010	0.000078	600	28.23	0.0250	19	310.65	15.258	1.23	320.12	256.00	11.000

Les chiffres de ces trois tableaux sont les mêmes, mais groupés différemment, afin de rendre la comparaison des résultats plus facile.

De l'examen des trois tableaux ressortent les faits suivants :

Tableau C. La section de passage et la section d'échappement restant constantes, la pression de la vapeur seule variant, c'est toujours la même section de cheminée qui fait produire pour chaque pression le maximum d'appel qu'on puisse obtenir avec cette pression.

La quantité d'air appelé et la dépression, dans la boîte A, augmentent avec la pression dans le réservoir d'échappement, mais le rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée diminue.

Tableau D. La section de passage et la pression de vapeur dans le réservoir d'échappement étant constantes, la section de l'échappement seule variant, la cheminée qui fait produire pour chaque section d'échappement le maximum d'appel diminue un peu avec la section d'échappement; mais pour des variations de sections d'échappement du simple au double, on peut dire que la section de la cheminée reste constante.

La quantité d'air appelé augmente avec la section d'échappement ainsi que la dépression dans la boîte à fumée; mais le rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée diminue.

Tableau E. La section d'échappement et la pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement étant constantes, la section de passage seule variant, la section de cheminée qui fait produire à chaque section de passage le maximum d'appel augmente avec cette section et lui est sensiblement proportionnelle[1].

La quantité d'air appelé augmente avec la section de passage, et conséquemment le rapport du poids d'air appelé au poids de vapeur dépensée; mais la dépression dans la boîte à fumée, au contraire, diminue.

Les trois paragraphes ci-dessus peuvent se résumer ainsi :

Pour une combinaison quelconque de section de passage, de section d'échappement et de pression de vapeur, il y a une section de cheminée qui produit le maximum d'appel, et cette section est indépendante de la pression de la vapeur et de la section de l'échappement, quand la section de l'échappement ne varie que dans les limites du simple au double; *la section de la cheminée dépend surtout de la section de passage et lui est sensiblement proportionnelle.*

Dans une autre série d'expériences, on s'est proposé, pour une section de passage d'air constante et un poids de vapeur dépensée constant, mais

1. Si on porte en abscisses les chiffres de la colonne 12 du tableau C, donnant le rapport de la section de la cheminée à la section d'échappement, et en ordonnées les chiffres de la colonne 13, donnant les rapports de la section de passage à la section d'échappement, on obtient sensiblement une ligne droite.

avec des sections d'échappement variables, et par conséquent des pressions dans le réservoir d'échappement variables, de déterminer : 1° les sections des cheminées qui, avec les divers échappements, donnaient le maximum d'appel et les quantités d'air appelé avec ces cheminées.

Les expériences ont porté sur cinq sections de passage, essayées successivement avec quatre sections d'échappement. Pour chacun des échappements, la pression dans le réservoir d'échappement était calculée de manière que le poids de vapeur écoulée fût constant.

Les éléments des expériences ont été les suivants :

Poids constant de vapeur dépensée. . . . . 25 grammes.

Un échappement de	0m,010	de diamètre avec une pression de	0,380mm
—	0m,014	—	0,180
—	0m,020	—	0,050
—	0m,028	—	0,015

Sections de passage.	80	trous de 0,015	millimètres.
	—	0,012	—
	—	0,006	—
	—	0,003	—

Pour chaque cas, on a déterminé la section de la cheminée donnant le maximum d'appel, comme nous l'avons dit, page 453, fig. 4, en essayant successivement plusieurs cheminées.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau F.

Tableau F.

De l'effet utile d'un poids constant de vapeur, s'écoulant avec des vitesses variables.

PLAQUES de passage de fumée.		ÉCHAPPEMENTS.		Pression de la vapeur dans le réservoir d'échappement en millimètres de mercure.	CHEMINÉES donnant le maximum d'appel déterminées par expérience.		Rapport de la section de passage à la section d'échappement.	Rapport de la section de la cheminée à la section d'échappement.	Poids d'air appelé par seconde.	Poids de vapeur dépensée par seconde.	Puissance vive de la vapeur dépensée par seconde en kilogrammètres.	Rapport du poids d'air aspiré au poids de vapeur dépensée.	Rapport du poids d'air aspiré à la puissance vive de la vapeur dépensée par seconde.
DÉSIGNATION.	SECTION de passage.	DIAMÈTRE.	SECTION.		DIAMÈTRE.	SECTION.							
		m.	mq.		m.	mq.			gr.	gr.	kilog.		
Plaque de 80 trous de 3 millimètres.	mq. 0.000565	0.028	0.000615	15	0.062	0.0030	0.92	4.87		25.84	9		
		0.020	0.000314	50	0.050	0.0020	1.81	6.36		25.84	28		
		0.014	0.000154	180	0.044	0.0015	3.66	9.75	30.00	25.84	88	1.16	0.34
		0.010	0.000079	580	0.044	0.0015	7.15	18.98	35.50	25.84	206	1.37	0.17
Plaque de 80 trous de 6 millimèt.	mq. 0.002252	0.028	0.000615	15	0.075	0.0045	3.66	7.31	37.00	25.84	9	1.43	4.12
		0.020	0.000314	50	0.071	0.0040	7.80	12.72	59.00	25.84	28	2.28	2.10
		0.014	0.000154	180	0.071	0.0040	14.58	25.99	78.00	25.84	88	3.02	0.88
		0.010	0.000079	580	0.071	0.0040	28.52	50.60	94.60	25.84	206	3.66	0.46
Plaque de 80 trous de 9 millimèt.	mq. 0.005089	0.028	0.000615	15	0.101	0.0080	8.25	13.00	63.05	25.84	9	2.44	7.00
		0.020	0.000314	50	0.101	0.0080	16.20	25.54	88.40	25.84	28	3.42	3.16
		0.014	0.000154	180	0.091	0.0065	33.00	42.20	117.50	25.84	88	4.55	1.33
		0.010	0.000079	580	0.091	0.0065	64.54	82.30	141.00	25.84	206	5.45	0.68
Plaque de 80 trous de 12 millimèt.	mq. 0.009007	0.028	0.000615	15	0.119	0.0110	14.72	17.89	90.00	25.84	9	3.48	10.00
		0.020	0.000314	50	0.119	0.0110	28.95	35.00	118.00	25.84	28	4.57	4.20
		0.014	0.000154	180	0.110	0.0095	58.99	61.60	158.00	25.84	88	6.11	1.60
		0.010	0.000079	580	0.110	0.0095	114.00	118.00	181.50	25.84	206	7.02	0.88
Plaque de 80 trous de 15 millimèt.	mq. 0.014137	0.028	0.000615	15	0.149	0.0175	22.90	27.48	110.00	25.84	9	4.26	12.22
		0.020	0.000314	50	0.143	0.0160	45.00	50.98	152.00	25.84	28	5.88	5.42
		0.014	0.000154	180	0.143	0.0160	91.50	103.83	206.00	25.84	88	7.95	2.34
		0.010	0.000079	580	0.141	0.0155	178.95	196.18	245.00	25.84	206	9.49	1.19

Il ressort de l'examen de ce tableau :

1° Que, pour une même section de passage et un poids de vapeur constant, dépensée avec diverses sections d'échappement, la section de cheminée qui fait produire à chaque échappement le maximum d'effet diminue un peu lorsque la section d'échappement diminue; mais que, pour des variations de section d'échappement du simple au double, on peut admettre que le diamètre donnant le maximum d'appel reste constant. Ce fait confirme ce que nous avons déjà dit, page 458, tableau D.

2° La quantité d'air appelé augmente à mesure que la section d'échappement diminue, autrement dit lorsque la vitesse d'écoulement de la vapeur augmente.

IX. — Résumé.

Les faits principaux qui ressortent de toutes les expériences qui viennent d'être rapportées et qui paraissent devoir s'appliquer plus directement aux locomotives, sont les suivants :

1° Une cheminée de section quelconque essayée avec une section de passage, une section d'échappement et une pression de vapeur données, doit avoir, pour produire son maximum d'effet, une longueur égale à 6 ou 8 fois le diamètre environ; une plus grande longueur n'a plus qu'une faible influence.

2° L'embase conique, placée à la partie inférieure de la cheminée paraît sans influence sensible sur le tirage.

3° Une cheminée, de longueur convenable, peut pénétrer dans l'intérieur de la boîte à fumée jusqu'au plan supérieur de l'arrivée d'air, en supposant que l'échappement descende en même temps que la cheminée sans que le tirage en soit influencé. Mais, passé cette limite, si on descend la cheminée jusque dans le courant d'arrivée de fumée, le tirage diminue sensiblement.

4° Lorsque la cheminée a une longueur suffisante, c'est-à-dire de six à huit fois son diamètre, la distance de l'échappement à l'entrée de la cheminée est sans influence sensible, lorsque cette distance ne dépasse pas une fois et demie environ le diamètre de la cheminée. Au delà de cette limite, le tirage diminue très-rapidement.

La pénétration de l'échappement dans la cheminée ne paraît pas avoir d'influence très-nuisible, tant que l'on conserve à la cheminée la longueur convenable mesurée depuis l'orifice d'échappement.

5° Pour une combinaison donnée de section de passage, de section d'échappement et de vitesse de sortie de la vapeur, il y a une section de cheminée qui fait produire à cette combinaison le maximum d'appel; la cheminée étant supposée avoir une longueur de six à huit fois son diamètre.

6° Avec une *même section de passage* ou un même obstacle, si la

section de l'échappement ne varie que du simple au double, quelle que soit la vitesse de sortie de la vapeur, on peut dire que c'est toujours la même cheminée qui, pour chaque cas, fera produire le maximum d'appel.

7° Une cheminée ordinaire, de section donnée et un échappement, de section aussi donnée, peuvent être remplacés, jusqu'à un certain point, par une cheminée multiple et un échappement multiple, de sections respectivement équivalentes; la cheminée ordinaire étant supposée avoir une longueur égale à 6 ou 8 fois le diamètre pour produire son maximum d'effet, et la cheminée multiple une longueur égale seulement à 6 ou 8 fois le diamètre des cheminées partielles. Pour une même pression de vapeur, les deux d'air égales à travers cheminées appelleront sensiblement des quantités un obstacle donné.

X. — Expériences sur les locomotives.

Dans le but de rechercher jusqu'à quel point les principaux faits révélés par les expériences en petit pouvaient s'appliquer aux locomotives, on a fait un certain nombre d'essais, en modifiant un peu le mode d'expérimentation employé avec les appareils.

L'emploi de l'anémomètre, pour mesurer la quantité d'air appelé dans la cheminée, n'étant pas d'un emploi facile, on s'est contenté de prendre, au moyen d'un manomètre à eau, la dépression dans la boîte à fumée, qui, pour un même état de grille, augmente lorsque le tirage augmente. Cette indication est d'ailleurs toujours suffisante, tant qu'il ne s'agit que de savoir si une cheminée fait produire un tirage plus grand qu'une autre.

La vitesse de sortie de la vapeur représentée dans les expériences par la pression dans le réservoir d'échappement eût aussi été très-difficile à mesurer; et on y a suppléé en plaçant un manomètre à mercure sur le tuyau d'échappement, à une certaine distance de l'orifice, en ayant soin de recourber le tube de communication en sens opposé au courant de vapeur et en donnant à l'extrémité de ce tube la forme d'un entonnoir allongé. Les indications données par ce manomètre à mercure ne représentent exactement ni la pression, ni la vitesse de la vapeur dans le tuyau d'échappement; mais, pour une même machine, les indications sont les mêmes pour un même échappement et une même dépense de vapeur ou une même vitesse de sortie.

Il devient donc facile, à l'aide des deux manomètres dont nous venons de parler, de déterminer, pour deux cheminées différentes, celle qui produit le plus grand tirage; car il suffit d'observer : d'une part, les pressions accusées par le manomètre à mercure de l'échappement, d'autre part, les dépressions dans la boîte à fumée, données par le mano-

mètre à eau. Il est évident que celle des deux cheminées qui, pour les mêmes pressions dans le manomètre de l'échappement, donnera les plus fortes dépressions dans la boîte à fumée, sera celle qui produira le plus grand tirage.

Les expériences de ce genre, sur les locomotives en marche, sont assez délicates, parce que l'état de la grille varie à chaque instant, et que, pour une même pression indiquée par le manomètre de l'échappement, la dépression dans la boîte à fumée est plus faible quand le feu est bas [1] que lorsqu'il est haut; cette dépression peut même varier du simple au double selon l'état de la grille.

Pour se mettre à l'abri de cette cause d'erreur, on a fait la moyenne d'une grand nombre d'observations; et pour rendre les résultats plus saillants, on a construit des courbes en prenant pour abscisses les pressions observées dans le tuyau d'échappement, et pour ordonnées, les moyennes des dépressions observées dans la boîte à fumée pour chaque pression dans le tuyau d'échappement. Il est évident que la cheminée qui donne la courbe la plus élevée est celle qui produit dans tous les cas le maximum d'appel.

Ces expériences peuvent aussi se faire sur place, en démontant les tiroirs de la machine, de manière à mettre l'échappement directement en communication avec la chaudière et permettre d'établir un écoulement de vapeur continu. En ouvrant plus ou moins le régulateur, il est facile de faire varier la pression dans le tuyau. Il convient toujours, pour se mettre à l'abri de l'influence de l'état de la grille, de faire un très-grand nombre d'observations dans la boîte à fumée, pour les mêmes pressions successives dans le tuyau d'échappement.

Nous donnons ci-après les résultats d'un certain nombre d'expériences en grand faites directement sur les locomotives, et dont les résultats sont d'accord avec les faits que nous avons tirés des expériences en petit.

1° *Détermination de la section de cheminée donnant le maximum de tirage avec un échappement fixe sur la locomotive n° 36 de la série 17—50.*

L'échappement fixe avait un diamètre de $0^m,110$, correspondant à une section de $0^m,009503$; il était placé à 0,100 de l'orifice inférieur de la cheminée.

Les cheminées d'expérimentation, au nombre de sept, avaient toutes la

1. Ce fait paraît parfaitement d'accord avec ce que nous avons dit page 458, tableau E, savoir que, pour un même échappement et une même vitesse de sortie de vapeur, la dépression dans la boîte à fumée diminue quand la section de passage augmente, quoique cependant la quantité d'air appelé augmente.

même longueur de 2m,00, au-dessus de l'orifice d'échappement et présentaient les diamètres et les sections suivantes.

NUMÉROS D'ORDRE des CHEMINÉES.	DIAMÈTRES.	SECTIONS.	RAPPORT de la section de la cheminée à la section de l'échappement.
	m.	mq.	
1	0.452	0.16	16.83
2	0.450	0.14	15.46
3	0.391	0.12	13.25
4	0.357	0.10	11.45
5	0.319	0.08	8.41
6	0.277	0.06	6.62
7	0.226	0.04	4.20

Ces sept cheminées ont été successivement essayées de Paris à Pontoise aller et retour.

On a facilement effectué le parcours, dans le temps voulu, avec les cheminées n° 2, 3, 4 et 5, le tirage a été insuffisant avec les cheminées 1 et 6; la marche a été impossible avec la cheminée n° 7.

En dehors des observation manométriques, il était évident que les cheminées 3, 4 et 5, donnaient une production de vapeur surabondante.

On notait à chaque kilomètre la contre-pression dans l'échappement et la dépression, au même instant, dans la boîte à fumée. *On a fait ainsi* environ quarante observations par cheminée.

Pour mettre en relief la relation qui existe entre la pression dans l'échappement et la dépression dans la boîte à fumée, on a traduit en courbes les observations faites.

Pour chacune des cheminées, on a porté, figure 6, en ordonnées, les moyennes des dépressions correspondantes aux pressions observées, prises pour abscisses; on a obtenu ainsi 7 séries de points, qui ont été reliés, comme on voit, par les tracés numérotés de 1 à 7.

Pour la figure 6 comme pour la figure 7, les abscisses représentent, en demi-grandeur, les pressions dans l'échappement; les ordonnées représentent, à la même échelle, les dépressions dans la boîte à fumée.

Il est évident, à l'examen de la figure 6, que la cheminée qui, pour une même pression dans l'échappement, a donné la plus grande dépression, c'est-à-dire le plus grand tirage, est la cheminé n° 4. Néanmoins, comme les cheminées 3 et 5 donnaient des dépressions peu différentes, on a cru devoir essayer de nouveau, comparativement, les cheminées portant les nos 3, 4 et 5.

De même que pour les premières expériences, on a représenté graphiquement, figure 7, les observations manométriques recueillies et l'on voit

que c'est encore la cheminée n° 4 qui a donné, pour les mêmes contre-pressions, les plus fortes dépressions.

2° *Essai d'une cheminée horizontale sur la locomotive* 133.

Il paraissait résulter des expériences relatives à la longueur et la section des cheminées que le tirage dans les locomotives n'est produit que par une action d'entraînement latéral du jet de vapeur sur les gaz environnants : on a conclu que la direction de la cheminée devait être sans influence. Pour vérifier le fait, on a remplacé la cheminée verticale ordinaire de locomotive Crampton 133 par une horizontale de même longueur et de même section.

Comme il était indispensable d'envoyer verticalement dans l'atmosphère tous les produits de la combustion, on a terminé la cheminée par un coude arrondi, le tuyau d'échappement a été prolongé et recourbé de manière que le jet de vapeur soit horizontal et dirigé dans l'axe de la cheminée, le tout disposé comme on le voit figure 5. La locomotive 133 munie de cette cheminée a fonctionné en service régulier pendant trois mois, environ aussi facilement qu'avec la cheminée verticale.

3° *Essais relatifs à l'emploi de cheminées horizontales sur les locomotives à voyageurs à quatre cylindres.*

Les expériences avaient pour but de déterminer la section et la longueur qu'il convenait de donner à une cheminée horizontale pour obtenir le maximum de tirage.

On a d'abord recherché l'influence de la section de la cheminée avec un échappement de 100 millimètres de diamètre; les cheminées d'expérimentation présentaient les diamètres suivants :

Numéros d'ordre des cheminées.	Diamètres.
1	$0^m,40$
2	$0^m,45$
3	$0^m,48$
4	$0^m,52$
5	$0^m,55$

Ces cheminées avaient chacune $3^m,50$ de longueur, c'est-à-dire au moins six fois le diamètre de la plus forte cheminée. On a fait varier la pression dans le tuyau d'échappement, en ouvrant graduellement le régulateur, et on a observé les dépressions dans les boîtes à fumée.

Le tableau G ci-après donne les résultats obtenus avec les diverses cheminées.

TABLEAU G.

NUMÉROS D'ORDRE.	PRESSION dans l'échappement en millimètres de mercure.	MOYENNES des dépressions en millimètres d'eau dans la boîte à fumée.	NUMÉROS D'ORDRE.	PRESSION dans l'échappement en millimètres de mercure.	MOYENNES des dépressions en millimètres d'eau dans la boîte à fumée.
Cheminée de 0,400 de diamètre.			**Cheminée de 0,520.**		
1	30	13	1	30	14.3
2	60	26	2	60	27.1
3	90	37.5	3	90	41
4	120	49	4	120	54
5	150	59.6	5	150	65
6	180	69	6	180	77.3
7	210	76.5	7	210	88.1
8	240	84.5	8	240	99.5
9	270	93.6	9	270	110.7
10	300	102.3	10	300	121
Cheminée de 0,450.			**Cheminée de 0,550.**		
1	30	13.5	1	30	13.6
2	60	28.3	2	60	26.6
3	90	44.1	3	90	41.8
4	120	54.6	4	120	52
5	150	68.6	5	150	63.5
6	180	77	6	180	75
7	210	86.6	7	210	85.5
8	240	97.8	8	240	95.5
9	270	108.6	9	270	106.1
10	300	119.3	10	300	117.3
Cheminée de 0,480.					
1	30	12.8			
2	60	27			
3	90	40.8			
4	120	54.6			
6	150	68.5			
6	180	80.5			
7	210	91.3			
8	240	102.5			
9	270	113.8			
10	300	127.3			

Pour rendre les résultats plus facilement comparables, on a construit des courbes en prenant pour abscisses les pressions dans l'échappement et pour ordonnées les dépressions correspondantes dans la boîte à fumée; on a obtenu ainsi, pour chaque cheminée, les séries de courbes, figure 8.

L'examen de la figure montre :

1° Que la cheminée n° 1, de 0m,40, donne des dépressions inférieures à celles des autres cheminées.

2° Que les cheminées nos 3 et 4, de 0m,45 et 0m,48, semblent donner plus de tirage que les autres, sans qu'on puisse cependant se prononcer sur celle qui donne le maximum.

Les expériences ont été répétées avec un échappement de 0m,125 de diamètre, et on a de nouveau trouvé que les deux cheminées de 0m,45 et de 0m,48 étaient encore celles qui donnaient le maximum d'appel.

Pour vérifier l'influence de la longueur de la cheminée, on a essayé, comme précédemment, avec un échappement de 0,125 millimètres, une cheminée de 0m,45 de diamètre, ayant les longueurs suivantes :

Numéros d'ordre des cheminées.	Longueur.
1	1 mètre.
2	2 mètres.
3	3 mètres.
4	4 mètres.
5	2 mètres plus un coude[1].

Les résultats sont consignés dans le tableau H ci-après et représentés par les courbes figures 9.

1. La cheminée n° 5 avait 2 mètres de partie droite, plus un coude à l'extrémité de 1 mètre de développement.

TABLEAU II.

NUMÉROS D'ORDRE.	PRESSION dans l'échappement en millimètres de mercure.	DÉPRESSION en millimètres d'eau dans la boîte à fumée.
CHEMINÉE DE 1m DE LONGUEUR. COURBE N° 1.		
1	5	5
2	16	6
3	30	10
4	74	22
5	119	34
6	169	46
CHEMINÉE DE 2m DE LONGUEUR. N° 2.		
1	16	9
2	27	15
3	39	21
4	46	24
5	63	32
6	73	36
7	123	58
CHEMINÉE DE 3m DE LONGUEUR. N° 3		
1	14	10
2	24	18
3	38	27
4	44	32
5	53	37
6	54	39
7	73	47
8	96	59
9	123	75
10	151	85
11	207	110

NUMÉROS D'ORDRE.	PRESSION dans l'échappement en millimètres de mercure.	DÉPRESSION en millimètres d'eau dans la boîte à fumée.
CHEMINÉE DE 4m DE LONGUEUR. N° 4.		
1	19	16
2	23	17
3	35	25
4	54	37
5	94	60
6	117	70
7	129	75
8	132	76
9	152	85
CHEMINÉE AVEC COUDE. N° 5.		
1	24	14
2	34	19
3	49	25
4	56	27
5	65	32
6	89	43
7	97	46
8	112	51
9	132	60
10	132	60
11	83	39
12	61	29
13	37	20

L'examen des courbes, fig. 9, fait voir :

1° Que le tirage a augmenté avec la longueur, mais que de 3 à 4 mètres l'augmentation paraît nulle.

2° Que la cheminée n° 5, de 2 mètres de partie droite, plus un coude de 1 mètre développé, soit au total 3 mètres, n'a pas donné plus de tirage que la cheminée droite de 2 mètres.

Les expériences ont été répétées avec un échappement de 100 millim. et des cheminées ayant successivement 2 mètres, 2m,50, 3 mètres, 3m,50 et 4 mètres, et l'on a reconnu que la cheminée de 3m,50 paraissait produire un peu plus de tirage que les cheminées de 3 et 4 mètres, de sorte que la longueur de la cheminée qui produit le maximum d'appel paraît com-

prise entre 3 et 4 mètres, soit, comme nous l'avons déjà dit, environ huit fois son diamètre.

4° Essai d'une cheminée à section multiple, sur la machine à grande vitesse, système Crampton n° 162.

L'installation, sur la machine Crampton n° 162, d'un sécheur semblable à celui des machines de fortes rampes, ne laissait à la cheminée verticale ordinaire qu'une hauteur tout à fait insuffisante de $0^m,75$. On a donc été conduit à essayer l'application d'une cheminée multiple, composée de 4 tubes de $0^m,75$, avec tuyère d'échappement à 4 orifices, débouchant au centre des 4 tubes de la cheminée, comme l'indique la figure 10.

Chaque orifice d'échappement avait 0,052 millimètres de diamètre, la somme des quatre orifices correspondait à un échappement de 0,104 millimètres; les tubes composant la cheminée multiple avaient 0,210 millimètres de diamètre; la somme des sections des 4 tubes correspondait à une cheminée de 0,420 millimètres.

Dans ces conditions, la machine 162 a fait le même service que les autres locomotives Crampton, sans qu'on ait constaté une différence sensible dans la production de vapeur.

On a obtenu une dépression de 0,070 millimètres d'eau dans la boîte à fumée, pour une pression de 0,100 millimètres de mercure dans le tuyau d'échappement.

On remarquera que dans la cheminée multiple de la locomotive n° 162 la hauteur des cheminées partielles n'était guère que de trois fois et demie leur diamètre; on n'a pas cru devoir augmenter le nombre des cheminées pour établir une meilleure relation entre la hauteur et le diamètre, parce que si, d'une part, on pouvait augmenter l'effet utile, d'autre part, on devait augmenter les résistances à l'écoulement de la vapeur dans l'échappement, et, par conséquent, la contre-pression dans les cylindres pour une même vitesse de sortie. C'est ce que, du reste, l'expérience a confirmé, en essayant un échappement composé de 36 orifices, correspondants à 36 cheminées partielles, avec un rapport convenable de diamètre et de hauteur.

En résumé :

Les cheminées multiples peuvent donner sensiblement les mêmes résultats que les cheminées ordinaires, surtout lorsqu'on pourra réduire le nombre des tubes à 2 ou 4 au plus.

N. B. — Pendant que cette note est sous presse, nous recevons un exemplaire d'un ouvrage allemand, publié à Zurich en 1863, par M. Gustave Zeuner, professeur de mécanique à l'Institut polytechnique de Zurich, sur le sujet que nous venons de traiter.

ÉTUDE

SUR

L'USURE ET LE RENOUVELLEMENT DES RAILS,

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

---

§ I. — IMPORTANCE ET OPPORTUNITÉ DE LA QUESTION.

Rappelons, en reprenant cette étude, quelques chiffres qui démontrent l'importance et l'opportunité de la question d'usure des rails et du renouvellement des voies.

A la fin de 1862, les chemins exploités en France avaient une étendue de 11,078 kilomètres, savoir :

En double voie..	6,977,140m
En simple voie..	4,100,440
Pour avoir la longueur totale des voies principales, ajoutons..	6,977,140
Cela donne..	18,054,690

mètres courants de voie, non compris les voies de gares, garages et manœuvres.

L'âge moyen de service de ces 18,054 kilomètres de voie jusqu'à la fin de 1862 est, en ne partant que de l'année 1846, de six ans et trois mois.

5,700 kilomètres de voie simple, posés en 1851, ont plus de douze ans révolus.

En attribuant aux rails une durée moyenne de quinze ans, les 18,000 kilomètres ci-dessus devraient être renouvelés dans neuf ans.

Le coût du renouvellement pouvant varier entre 12,000 et 18,000 fr. par kilomètre, soit en moyenne 15,000 fr., la dépense totale faite ou à faire dans une période de quinze années, qui aura commencé en 1856, sera de 270 millions; c'est, en moyenne, 18 millions de francs par an. Mais avant cinq ou six ans, et en supposant que les parties du réseau concédé restant à terminer ne soient établies qu'à simple voie, le réseau de voie simple aura 25,000 kilomètres d'étendue. La dépense s'accroîtra donc en proportion, et, dans un certain nombre d'années, elle sera de 25 millions de francs par an.

Devant de tels chiffres, et aussi devant les conséquences du même genre que peut avoir sur la durée du matériel roulant une voie résistante et parfaitement établie, il est opportun de se livrer à une étude approfondie des faits qui amènent la destruction si rapide des rails. Il faut chercher un remède technique à cette destruction, car il y a en ceci à la fois une question d'art et un grave intérêt d'économie des transports.

Qu'on nous permette de reproduire ici un passage de notre première étude :(?)

« La question de la détérioration de la voie et du renouvellement des rails, qui intéresse de plus en plus les capitaux engagés dans les chemins de fer, est l'objet de l'attention continue des ingénieurs. On s'en aperçoit au progrès très-marqué dans le choix des moyens par lesquels cette destruction incessante est combattue. La somme de notions, résultant de l'expérience personnelle que donne à l'ingénieur la spécialité de son service, dépasse de beaucoup tout ce qui se trouve à cet égard dans les livres et les mémoires, et rien n'est plus intéressant que de chercher à démêler le point vers lequel convergent ces esprits expérimentés pour fermer cette plaie toujours béante du renouvellement périodique de la voie, et pour lutter contre l'instabilité progressive résultant de la mobilité même des éléments qui la composent. Nul ne peut nier les soins apportés dans les écoulements d'eau, le choix du ballast, la forme et la dimension des traverses, la forme et l'attache des coussinets, la jonction des rails, etc. Il est également évident que la voie devient plus résistante, plus homogène, plus douce, qu'elle ménage mieux le matériel roulant et qu'elle-même dure plus longtemps; mais il est également évident que *son travail* s'accroît dans d'énormes proportions. Cet accroissement de travail n'est pas particulier à la France : l'Allemagne nous avait précédés, elle nous a plus tard suivis dans la construction des locomotives de grande puissance; aujourd'hui l'Angleterre entre dans la même voie, et l'un de ses ingénieurs les plus distingués, directeur du matériel d'une grande ligne, arme de cylindres les tenders de ses fortes machines, pour profiter de toute l'adhérence du poids du moteur et de ses approvisionnements.

« D'un autre côté le nombre des trains rapides qui éprouvent si sérieusement la voie, tend à s'accroître avec le trafic; DE TELLE SORTE QU'ON APERÇOIT DISTINCTEMENT UNE AUGMENTATION DE FATIGUE POUR LA VOIE ET, AUSSI DISTINCTEMENT, SA FAIBLESSE RELATIVE.

« Bien des solutions surgiront avec le temps pour établir l'équilibre; mais comme elles seront, sans aucun doute, aidées par un examen attentif des effets du contact des bandages avec les rails, nous avons d'abord appelé l'attention sur ce point. Il importe, en effet, autant à l'ingénieur du matériel de connaître le mode de détérioration de la voie, qu'à l'ingénieur de la voie de savoir comment les bandages s'altèrent et se détruisent. Le premier a un grand intérêt à l'extrême dureté des bandages;

il cherche chaque jour à l'accroître : que fera le second pour donner à la voie des qualités correspondantes à celle des bandages?

« La question n'est assurément pas nouvelle, elle est depuis longtemps méditée, élaborée, mais peut-être isolément. Elle n'était pas posée. Il nous a semblé utile de faire ressortir plus apparemment le lien qui unit la voie au matériel, certain que les faits qui se rattachent à l'une et à l'autre seraient mieux appréciés par leur rapprochement que dans leur isolement.

« Nous avons dit, et nous tenons à répéter, que l'ensemble des renseignements que nous avons recueillis ne constitue réellement que l'ébauche du fait très-saillant de l'usure rapide des bandages correspondant à la lenteur de l'usure du rail; d'une marche plus égale dans la destruction du bandage et du rail, l'un par la déformation, l'autre par la disjonction et la chute par fragments. C'est là que le côté faible de la voie est apparent. Le remède est-il dans l'adoption d'un rail plus fort, mieux fabriqué, d'une forme présentant plus de table? C'est pour la solution de cette question que nous avons cherché à recueillir un ordre de faits enfouis dans la statistique. Ceux qui concernent le rapport entre le renouvellement des voies et l'importance du trafic ne nous ont encore permis que des appréciations très-vagues. Nous avons été plus heureux en ce qui concerne l'usure des bandages; néanmoins nous nous sommes trouvé en présence de certaines discordances dans les résultats qui nous étaient fournis, et nous avons dû chercher à les expliquer. »

§ II. — De l'usure réciproque des rails et des bandages des roues.

Les dernières études, dont nous avons présenté le résumé à la Société des ingénieurs civils, conduisaient à la démonstration que la destruction des rails n'est pas une conséquence immédiate de l'*usure* résultant du passage des roues, et que la perte moléculaire des bandages n'a pas son analogue dans les rails.

En cherchant la mesure de l'influence du contact des bandages avec les rails et de leur durée réciproque, nous avions introduit l'hypothèse d'une usure des rails proportionnelle au parcours des véhicules.

Cette hypothèse n'était admissible qu'en faisant intervenir la durée et l'étendue des points de contact réciproques entre le rail et le bandage; il fallait donc tenir compte du diamètre des roues et aussi, bien qu'à un moindre degré, de la différence de largeur des bandages et des rails. Ce point de vue, qui est à la fois une rectification de l'hypothèse produite et un acheminement à un résultat théorique plus précis de la comparaison entre l'usure du rail et celle du bandage, nous a valu les trois intéres-

santes communications qu'on va lire. La première nous a été adressée par M. M.....[1].

« Dans un parcours quelconque une roue ne touche qu'une fois chaque point du rail sur lequel elle roule, et pour un parcours d'une longueur l, chaque point de la circonférence d'une roue du diamètre d est touché par le rail un nombre de fois égal à $\frac{l}{3{,}14 \times d}$, de sorte que pour un parcours $l = 1{,}000$ mètres, il faudrait, pour que la roue et le rail fussent, point par point, dans les mêmes conditions d'usure, que le diamètre d de la roue fût de 320 mètres environ. La considération du diamètre de la roue est donc essentielle. Par exemple, pour un bandage de $1^m,20$ de diamètre la circonférence d'un bandage doit s'user sur un parcours d'un kilomètre $\frac{1{,}000}{3{,}14 \times 1{,}20}$ ou 265 fois plus que le rail correspondant, en considérant le rail et le bandage, point par point, de leur entier développement. Si vous admettez que $1^m,20$ soit le diamètre moyen des roues des trains d'Orléans, l'usure annuelle des bandages correspondant à un rail étant, d'après vous, de 48 millimètres pour un kilomètre de voie parcouru par 25 trains par jour, l'usure du rail correspondant sera de $\frac{48^{mm}}{265} = 0^{mm},181$, ce qui est un chiffre inférieur à la réalité, et cela doit être d'après le principe de la réciprocité, parce que l'usure sur le bandage affecte une largeur plus grande que l'usure sur le rail, ce dont il n'a pas été tenu compte.

« Voici, il me semble, comment le calcul doit être fait avec les données relatives à l'exploitation de 1862 du chemin de fer d'Orléans dont vous partez dans votre étude.

« Le train moyen du chemin de fer d'Orléans paraît avoir été composé, en 1862, de 80 roues, dont 68 roues de wagons, 6 roues de tender, 4 roues motrices, 2 roues porteuses de locomotives. Si on ne considère que l'usure des bandages en service, abstraction faite de la perte par tournage (évaluée à 1/4 de l'usure totale), les données du chemin de fer d'Orléans montrent que l'usure en marche pour un millimètre d'épaisseur correspond à des parcours en kilomètres, qui sont, à peu près, pour une roue de wagon de 8,000 kilomètres; pour une roue de tender, 6,560 kilomètres; pour une roue de locomotive, 3,600; et pour une roue porteuse, 4,000 kilomètres; ce qui donne pour la moyenne par roue du train, d'après la composition ci-dessus, 7,572 kilomètres. L'usure totale produite sur toutes les roues d'un train, par le parcours du train sur un kilomètre de longueur, sera donc, si on la rapporte à une seule roue, de $\frac{80}{7{,}572} = 0^{mm}\,010{,}565$.

1. Ingénieur des ponts et chaussées.

« Cette usure a lieu sur la circonférence de la roue, soit sur une longueur de $3,14 \times 1,20 = 3,768$ pour une roue de $1^m,20$ de diamètre. La même usure, répartie sur le développement de 2,000 mètres des deux rails, sera donc $\frac{0^{mm}010,565 \times 3^m768}{2,000} = 0^{mm},000\,019,904$, et pour une circulation de 25 trains par jour, l'usure des rails sera, par an, de $0^{mm}000,019,904 \times 9,125 = 0^{mm}181,624$.

La seconde communication nous a été adressée par M. B. D.[1], dans les termes suivants :

« A défaut de données précises sur l'usure des rails, on peut arriver à l'estimer approximativement en cherchant la relation qui existe entre le parcours et l'usure des bandages d'une part, et le passage des trains d'autre part.

« En ne tenant pas compte de la différence qui existe dans la qualité du fer, ni de celle qui existe dans la manière dont l'usure se produit dans les deux cas, on peut admettre que l'action de chaque tour de roue sur un bandage correspond pour la voie au passage d'une roue sur un rail.

« Cela posé, il ne s'agit plus que de chercher le nombre de tours qui correspond à l'usure totale et à la mise au rebut d'un bandage, et par suite à une usure de 1 millimètre. Cela trouvé, on pourra admettre que pour user un rail de 1 millimètre, il faut qu'il y passe un nombre de roues égal au nombre de tours que fait un bandage pour la même usure; on en déduira le nombre de trains et le nombre d'années pour une usure de 1 millimètre et pour le remplacement du rail.

« Le parcours moyen d'un bandage de voiture ou de wagon est approximativement de 200,000 kilomètres, soit 200 millions de mètres.

« Le diamètre de roulement des roues de cette espèce est en général de plus de 1 mètre, ce qui correspond pour le développement de la circonférence à plus de 3 mètres. Par conséquent, le nombre total de tours que fait un bandage de wagon, depuis sa mise en service jusqu'à sa mise au rebut, est de 60 millions environ; l'usure correspondante étant de 30 millimètres environ, on voit qu'une usure de 1 millimètre correspond à 2 millions de tours de roues pour un rail.

« La composition moyenne d'un train pouvant être comptée de vingt véhicules, si l'on admet que la machine et le tender représentent cinq wagons parce qu'ils causent une plus grande fatigue, on verra que l'usure produite par un train sur les rails est équivalente au passage de 25 voitures ou wagons, ou de 50 roues sur chaque rail.

Par conséquent, le nombre de trains qui peuvent circuler, sur une voie, avant d'arriver à une usure de 1 millimètre sur les rails, est égal à $2,000,000 : 50 = 40,000$.

1. Membre de la Société des Ingénieurs civils.

Si la circulation des trains dans chaque sens est de 28 par jour, soit en nombre rond de 10,000 par an, la durée serait donc de quatre années pour un millimètre d'usure.

Les conditions dans lesquelles se trouvent les rails étant plus favorables que celles dans lesquelles se trouvent les bandages, il en résulte que la durée des rails doit être plus considérable que celle trouvée ci-dessus.

Enfin la troisième rectification nous est venue de M. H. M.[1], auquel nous avions communiqué les deux précédentes.

« J'ai étudié attentivement la lettre de M. M... et la note de M. B... D..., et je suis tout à fait de cet avis que la différence d'usure entre le bandage et le rail tient à ce que le bandage touche le rail beaucoup plus souvent que le rail n'est touché.

« La marche du calcul de M. M..... applique le parcours des trains à deux rails seulement, tandis qu'il devrait l'être aux quatre rails qui composent deux voies.

« Il est vrai que sur les nouveaux réseaux la voie unique domine; mais, d'un autre côté, la circulation y est très-faible, en sorte qu'en maintenant la division par 4, on reste dans la réalité.

« Je reproduis ci-dessous le calcul en prenant les données de votre étude, et le calcul suivant les indications de M. M.....

« Un bandage de $1^m,20$ de diamètre moyen ou de $3^m,768$ de circonférence s'usant de $1^m/_m$ par 7,572 kilomètres parcourus, il en résulte que cette usure par kilomètre de rail sera de $\frac{1^m/_m \times 3.768}{1000}$ et qu'elle sera de $\frac{3.768}{1000 \times 7.572} = 0^m/_m000.000.497$ par kilomètre parcouru.

« Pour un train de 80 roues, cette usure sera

$$\frac{80 \times 3.768}{7572 \times 1000} = 0^m/_m00003976,$$

et, comme elle doit être répartie sur les quatre rails qui composent les deux voies, l'usure, par kilomètre de rail, sera réduite à

$$\frac{80 \times 3.768}{7572 \times 1000 \times 4} = 0^m/_m00000994$$

pour une circulation diurne de 25 trains, elle sera

$$25 \times 0^m/_m00000994 = 0^m/_m00024850;$$

et, pour une année, elle sera de $365 \times 0^m/_m0002485 = 0^m/_m,0907025$; c'est la moitié du chiffre donné par M. M....; cela devait être.

« Cette faible usure du rail, que le calcul indique et qui est si loin de

1. Membre de la Société des Ingénieurs civils.

la réalité, puisqu'à ce compte les rails devraient durer plus de 50 années, s'explique d'abord par la qualité généralement inférieure des rails par rapport à celle des bandages, et ensuite par la part très-considérable que les roues accouplées des machines à marchandises surtout ont dans l'usure et la détérioration des rails.

« On peut en trouver la preuve dans ce fait des rails du chemin de Saint-Germain, qui ont duré 25 ans, parce qu'ils n'ont eu à supporter que des machines à roues indépendantes, tandis que sur les grandes lignes, une durée de 7 à 8 ans (en dehors des gares) est considérée aujourd'hui comme une moyenne.

« Une durée de 7 années, c'est bien peu ; mais elle indique très-clairement que les rails sont généralement de qualité trop médiocre pour résister au travail qu'ils ont à subir et pour la matière qu'on applique aux bandages; la preuve en est encore dans la nécessité où l'on s'est trouvé de faire l'essai de rails en acier fondu, dans les points très-fatigués, essais qui ont généralement réussi. D'un autre côté, il est incontestable que si la déformation du profil du bandage est une cause de détérioration pour le bandage, elle est aussi un motif de détérioration du rail.

« Les conséquences auxquelles on arrive par ce calcul montrent que la qualité des rails est insuffisante, leur mode de fabrication défectueux, et qu'il faut aviser à y remédier.

« Que, si l'on veut charger les machines plus qu'elles ne le sont aujourd'hui et faire porter aux essieux 14 ou 15 tonnes, il est indispensable d'avoir des rails d'un moment d'inertie plus élevé et d'une qualité supérieure, c'est-à-dire des rails plus hauts et fabriqués en acier fondu ou en très-bonne matière de fer. »

Les deux méthodes qui précèdent partent toutes deux d'un principe vrai. Elles arrivent cependant à un résultat complétement différent, puisque, d'après l'une, les rails seraient usés d'un millimètre au bout de quatre ans, tandis que, d'après l'autre, ce ne serait qu'après la dixième année de service, et cela sur un chemin parcouru chaque jour par 25 trains.

§ III. — INFLUENCE DE LA QUALITÉ ET DE LA RÉSISTANCE DES RAILS SUR LEUR DURÉE.

On ne peut se refuser à reconnaître combien il y a encore, dans ce qui précède, de bases hypothétiques qu'une observation patiente et des statistiques bien faites pourraient convertir en données certaines.

Il reste à préciser, en effet, pour les bandages, la réduction réelle d'épaisseur résultant de l'usure directe : l'influence de la qualité, du poids, et de la circulation sur cette réduction d'épaisseur; la forme réelle de la gorge produite par l'usure; enfin le changement de forme des

bandages résultant de l'écrasement. Sur tous ces faits, les données que nous avons rassemblées, quelque nombreuses qu'elles soient, n'aboutissent qu'à des termes trop distants pour constituer des moyennes sensiblement exactes.

Il en est de même pour les rails : le champ d'observation est plus vaste et plus varié, et il est difficile d'en énumérer tous les points. Mais la forme et la qualité des rails; les conditions de la pose; le poids et l'espèce des véhicules et des machines; l'importance de la circulation ; le genre d'altération surtout, tels que les chutes par fragments et les changements de formes qui nécessitent le renouvellement, sont les éléments principaux sur lesquels nous appelons l'attention.

Toujours est-il bien matériellement établi, en fait, que l'usure directe produite par la rotation des bandages n'est pas la cause destructive qui amène le renouvellement des rails. Quelle que soit la dureté des rails, c'est leur malléabilité qui est en jeu. La preuve incontestable de leur écrasement est dans leur aplatissement rapide, et dans le creux qui se forme au contact du rail dans le coussinet.

Quant à la part à faire à la largeur comparative du bandage et du rail, loin d'en conclure une plus grande durée de l'un ou de l'autre, nous serions porté à émettre des doutes sur un effet contraire. L'altération du rail qui se montre par la chute des fragments a lieu aux deux bords du champignon; mais elle est infiniment plus forte du côté extérieur qu'à l'intérieur; la forme de ces fragments démontre que c'est la pression exercée par le bourrelet extérieur formé par le creusement ou le déplacement du fer du bandage qui les détache. Ceux de l'intérieur sont évidemment produits par la même cause, mais elle agit beaucoup moins souvent et avec moins d'intensité, le boudin du bandage étant un obstacle à son action.

La situation de la question est suffisamment indiquée par les trois notes qui précèdent et par les considérations dont nous les avons fait suivre sur le rapport à établir entre l'usure des bandages et celle des rails. Cette usure est négligeable pour les rails, même dans les parties de voie les plus fréquentées. Elle n'intervient pas sérieusement dans les causes qui amènent la destruction des rails et la nécessité de leur renouvellement.

Nous avions terminé, dans l'étude précédente, l'expression des opinions qui nous semblent le plus généralement arrêtées, par ces mots : « Des ingénieurs pensent que si le rail est de bonne qualité, il ne s'use pas; d'autres considèrent l'usure directe de la table, l'usure sans déplacement de matière, comme très-faible : quelle qu'elle soit, toujours est-il que le rail est loin de s'abaisser par perte de matière autant que se creuse la table de roulement des bandages. »

S'il est donc une conséquence logique à tirer du fait que l'usure est à peu près insensible, c'est que le rail se détruit parce que sa matière manque d'homogénéité et de ténacité, parce que sa limite d'élasticité est

toujours dépassée par la pression qu'il subit, soit directement ou par écrasement, au point de contact avec une matière plus dure que lui, celle du bandage; parce que cette limite d'élasticité est également dépassée dans les changements de formes du rail qui résultent des flexions entre ses points d'appui sur le sol, et des mêmes flexions causées par la mobilité de ses points d'appui dans le ballast.

Le rail s'en va par fragments, il se détruit, en se déformant, au point qu'il ne peut être retourné aussi avantageusement qu'on le prévoyait, parce que le changement de figure de sa table, devenue point d'appui, ne lui permet plus d'épouser la forme du coussinet, ce qui diminue sa rigidité et sa résistance.

C'est pour cette cause que des ingénieurs préfèrent la nouvelle disposition du coussinet qui soutient le rail par le dessous du champignon supérieur. L'expérience n'a pas encore prononcé sur ce moyen qui semble enlever au rail une partie de la résistance qu'il puisait dans l'encastrement, mais qui assure l'avantage de le retourner sans nuire à la pose.

Le laminage à froid opéré par le roulement du bandage enlève au rail sa figure de fabrication; il en détache des parties et celles-ci ressemblent, quand elles se détachent, aux fibres d'un fer qui aurait été passé à la filière sans des recuits suffisants et qui se divisent.

Le dessoudage qui amène également la chute des fragments se propage avec une continuité qui démontre l'action des flexions, c'est-à-dire du passage de forces contraires de pression et de traction qui dépassent l'élasticité propre de la matière.

Tout cela démontre que le rail est trop faible à la fois par ses dimensions et par sa résistance propre comme matière.

Il n'est ni assez épais, ni assez haut puisqu'il plie au point de se dessouder.

Il n'est pas assez épais puisqu'il n'est pas d'aplomb dans les coussinets. Cet effet est très-apparent : quand une voie est neuve, il est facile de reconnaître que la surface de roulement est tantôt à droite, tantôt à gauche de l'axe du rail; rarement est-elle exactement sur celui-ci. La pose dépend d'ailleurs d'un tel ensemble de conditions qu'on s'explique parfaitement qu'il en soit ainsi : la pose du coussinet sur la traverse, et l'ajustement, plus ou moins exact, du rail dans le coussinet, sont autant de conditions de précision qui sont rarement réalisées à la fois.

Si la table du rail était plus large, son assiette sur le coussinet serait susceptible de plus d'exactitude; le rail serait moins exposé à la torsion.

Ainsi donc les conditions d'une bonne pose géométrique demandent aussi bien l'augmentation des dimensions des rails, que le poids des véhicules exige un accroissement de leur résistance.

Quant à la qualité de la matière, ceux qui connaissent la fabrication savent que les rails sont du mauvais fer. C'est du mauvais fer parce qu'il

est fabriqué en grande partie par les usines qui fournissent le fer le plus commun, et puis parce que le choix du minerai et le mode de fabrication dicté par l'économie que commande le prix de vente sont de nature à ne produire que des fers de basse qualité.

Il est des usines où l'on considère la présence d'un excès de silicium dans le fer des rails comme lui donnant de la résistance et de l'homogénéité.

Dans d'autres on ne purge, pour la fabrication des rails, ni la fonte ni le fer, du soufre ou du phosphore qu'ils contiennent, et la matière est à peine soudable.

Composé, aux deux tiers, de fer de première opération et d'un tiers de fer de seconde opération, le rail n'est ni homogène ni soudé, parce que la température soudante étant plus élevée pour l'un que pour l'autre fer, on s'arrête à la plus basse de peur des déchets.

Dans la consommation générale, on ne trouve en fer marchand, pour les plus bas usages, que du fer de première opération; celui qui, après le puddlage, a subi un réchauffage et une façon, soit au laminoir, soit au marteau.

L'idée tant préconisée par quelques personnes, de fabriquer les rails en fer de première opération seulement, sans changer notablement le travail, conduisait dans une direction toute contraire à celle qui tend à améliorer la qualité des rails.

Cette idée n'a de base que l'économie qui peut en résulter dans la fabrication; et l'économie, qui est assurément l'une des premières conditions à remplir, ne s'explique que par ce fait, qu'il suffit que les rails ne se brisent point pour que la sécurité ne soit pas compromise. Dans les marchés, la condition de sécurité et celle d'économie n'ont jamais été séparées; les cahiers des charges ont imposé aux fabricants des conditions plus sévères, une responsabiité plus longue et qui les intéresse à la durée des rails. Les rails ne sont nulle part cassants à froid. La sécurité n'est donc pas ici en question, c'est d'un autre ordre d'intérêts qu'il s'agit.

Il suffit d'observer la direction des procédés à l'aide desquels on élève la qualité du fer, pour reconnaître que, depuis l'origine de la fabrication des rails, rien n'a été fait, à l'exception de ce qui intéresse la sécurité, dans la voie d'une amélioration radicale de la fabrication. Il y a entre la qualité du fer marchand et celle des rails la même différence qu'autrefois. L'usage du marteau pilon a, dans plusieurs usines, donné au fer n° 1, et au paquet formant le rail avant le passage au laminoir, un peu plus de densité. A cela seul se borne le progrès; tandis que pour la fabrication des plaques de blindage, pour les arbres de machines, les pièces d'étrave et d'étambot des navires, la forgerie a fait les pas les plus rapides. On choisit, pour ces pièces, les minerais de la plus haute qualité; l'affinage est conduit avec un soin extrême; on choisit la houille la plus

pure pour toutes les opérations, et le travail mécanique est appliqué avec la plus grande énergie, soit par le marteau, soit par le laminoir. On obtient ainsi des fers qui reçoivent le choc du projectile et y résistent à une certaine distance, avec efficacité. Les uns sont ductiles et ne s'étoilent pas, tout en gardant l'empreinte du boulet qui s'est engagé dans leur épaisseur, et les autres exigent l'emploi de projectiles d'acier pour être perforés. Tel fer, tout en étant ductile et nerveux, est graphiteux, et n'est pas susceptible d'un beau poli : c'est le fer de ferraille (scrap iron); tel autre fer est compacte, grenu, brillant; il se polit comme l'acier, c'est du fer produit par d'excellent minerai et travaillé à d'énormes températures. Mais il y a une différence de prix considérable entre du fer de fabrication aussi courante que le rail et des fers de qualité supérieure.

La question que soulèvent à la fois l'énorme développement du trafic, l'élévation de la puissance des machines, l'importance que prennent dans les transports le double intérêt d'une grande vitesse pour les trains de voyageurs, et de la traction économique des matières minérales, cette question, disons-nous, est de savoir si, de même que la voie en rails de 30 kilog. n'a pas répondu aux conditions de l'exploitation et a dû être remplacée par la voie de 37 kilog., cette dernière répond aux prévisions de l'avenir.

A présent elle suffit. Dans les conditions actuelles de l'exploitation, elle offre toutes les garanties désirables de sécurité, de stabilité, d'économie d'entretien; mais il est facile de reconnaître l'importance de la question au point de vue des renouvellements qui commencent à devenir indispensables. Est-ce dans les conditions actuelles, est-ce dans celles d'une constitution plus solide, plus rigoureusement géométrique, qu'il faudra procéder à ces renouvellements?

Lorsque l'on parcourt de grandes distances dans les trains express, en France et à l'étranger, on reconnaît de suite qu'au delà de 65 à 70 kilomètres à l'heure, l'agitation des véhicules rend la vitesse insupportable. En Angleterre, il y a deux ou trois ans, un séjour de 10 heures dans un train express, marchant entre 50 et 70 kilomètres, était très-fatigant. Depuis l'usage des nouvelles voitures, qui se rapprochent de la construction française, la vitesse n'est supportable que lorsque les trains sont très-légers, et que les attelages sont serrés à fond, de telle sorte que les tampons restent en contact [1]. Mais, dans ce cas même, le roulement sur les voies non éclissées est excessivement incommode.

1. Cette condition du maintien au contact des tampons des véhicules, si essentielle à la douceur de la marche des trains express, est, dans l'état des attelages, fort difficile à obtenir. Quand la flexion des ressorts de traction dépasse le serrage des tampons de choc, ceux-ci cessent d'être en contact, et cet effet se produit, dans les voitures de tête des trains, soit à l'ascension des rampes, soit dans les périodes d'accélération. D'un autre côté si les tampons

On marche souvent à 70 et même à 75 kilomètres à l'heure, parce qu'il y a, dans la marche des trains express, des différences de vitesse considérables qui proviennent de la faiblesse des machines. Celles-ci ralentissent en montant les rampes; elles accélèrent en descendant les pentes. On reconnaît à l'agitation des voitures le moment où les relations qui, entre les véhicules et la voie, assurent la stabilité dans la vitesse, cessent d'exister. A ce point de vue, la grande puissance des machines est aussi désirable pour les trains express que pour les trains les plus lourds.

Nous croyons être dans le vrai en disant que la voie actuelle est en rapport avec des vitesses de 50 kilomètres quand les trains sont légers et que les attelages sont rigides. A cette condition, les voyages de jour et de nuit s'accomplissent avec un confort suffisant. La traction est sans aucun doute dispendieuse, parce que la vitesse éprouve les machines, les véhicules, la voie, et parce qu'elle apporte dans le régime général de l'exploitation, pour assurer la sécurité, un trouble sérieux en ce qui concerne la circulation des trains ordinaires de voyageurs et de marchandises. Cette dernière condition est, il est vrai, un mal nécessaire, tandis que les autres peuvent être améliorées par des perfectionnements dans la construction de la voie et des véhicules. Il est présumable que le progrès, sous ce dernier rapport, amènerait une réduction dans la dépense de la vitesse, dépense qui est, quant à présent, un obstacle matériel que l'art impose autant que l'économie légitime de l'exploitation.

Le renouvellement des rails, est-il dit dans le compte rendu des dépenses d'exploitation du réseau de l'État belge, est « toujours l'objet d'une attention très-sérieuse, parce qu'il contribue puissamment à assurer la sécurité de la circulation, et aussi la conservation du matériel roulant; » en fait, c'est plus que cela : Une voie très-résistante, très-régulièrement placée, c'est le chemin de fer continué vers sa véritable destination. La vitesse n'y soumettra plus le matériel aux agitations qui la rendent si fatigante pour le voyageur, si dispendieuse pour l'exploitation. Le nombre des trains du service des voyageurs, pour lequel il faudra recourir à l'accouplement des roues et à un excès de longueur des machines, sera moindre, parce que les roues motrices indépendantes pourront être plus chargées; les grandes lignes pourront profiter plus largement des grands rayons de leur tracé et des faibles inclinaisons de leur profil; les trains seront moins encombrants parce que les véhicules pourront porter de plus lourdes charges; les dépenses d'entretien seront sérieusement diminuées.

de chocs étaient rapprochés de telle sorte que la flexion des ressorts de traction les laissât aussi tendus qu'ils le sont au repos, il en résulterait, dans les courbes, des résistances qui accroîtraient considérablement la résistance à la traction : la question des attelages n'est donc pas aussi simple ni aussi complétement résolue qu'elle le paraît.

Le côté économique de la question mérite donc un examen d'autant plus attentif que, sous le rapport technique, tout est à gagner dans l'amélioration de la voie.

Le fait qui accroît le plus l'importance de cette étude est que le renouvellement des rails de la forme ordinaire, dite double T, ne se borne nullement aux rails, mais entraîne la dépose entière de la voie et la repose d'une voie nouvelle. Les traverses, les coussinets, les chevilles, les éclisses subissent des altérations contemporaines de celle des rails, qui ne permettent plus le mélange des éléments anciens avec les éléments nouveaux qui entrent dans la composition de la voie.

La dépose et la repose de la voie augmentent donc le coût du renouvellement des rails, des frais de la main-d'œuvre qu'elles entraînent et des transports qui s'élèvent ainsi à 350 kilogrammes environ par mètre courant de simple voie [1].

Les rails sont en partie refaçonnés, en partie réemployés dans les garages, les travaux d'entreprise, etc., en partie revendus. Ils sont en général inventoriés à la moitié du prix des rails neufs.

§ IV. — FAITS RELATIFS AU RENOUVELLEMENT DES VOIES.

Nous exposerons d'abord les faits qui indiquent le mieux la manière dont la question du renouvellement des rails est engagée, et son importance.

Réseau belge (chemin de l'État).

Ce réseau a (1862) 748 kilomètres, composés :

En voies de circulation, de.	1458	kilom.
En voies de garage.	298	—
Longueur de voie simple.	1756	—

Soit 3,542,000 mètres courants de rails, répartis en 718 kilomètres de double voie et 22 kilomètres en simple voie. La voie ne doit plus être doublée que sur une longueur de 8k,5.

Depuis 27 ans, la longueur moyenne des voies principales étant de 840 kilomètres, il est entré dans la construction et le renouvellement, en mètres courants de rails. 5,930,197m

Il en a été retiré et refaçonné	2,387,988
Il en reste dans les voies	3,542,209

1. Traverse, 75 kil.; coussinets, éclisses, chevilles, 23 kil.; rails, 75 kil. = 173 kil. × 2 = 346 kil.

Ces 5,930,197 mètres de rails étaient entrés dans la construction et dans l'entretien de la voie, et en ont été retirés dans les proportions indiquées par les chiffres suivants :

FORME ET POIDS DES RAILS.	EMPLOYÉS DANS la construction.	EMPLOYÉS DANS l'entretien.	RETIRÉS.	RESTANT en service.
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Rails ondulés du poids de 19 à 22 kilog., origine 1835 à 1843.	959.773	16.264	915.836	60.201[1]
Rails parallèles du poids de 25 à 27 kil. Ces rails sont entrés dans la construction de la voie depuis 1838 jusqu'à 1858.	1.278.262	112.234	1.136.777	253.719[2]
Rails double T du poids de 34 kil. Ces rails sont entrés dans la composition de la voie depuis 1846.	1.094.554	2.126.420	334.477	2.886.497[3]
Rails Vignole du poids de 38 kil. Entrés dans les voies depuis 1860.	64 144	278.546	898	341.492[4]

1. Dans les voies principales 9062 mètres.
2. Dans les voies principales 33,113 mètres.
3. Dans les voies principales 2,525.019 mètres.
4. Dans les voies principales 338,843 mètres.

La durée *moyenne* des rails ondulés aura été de 12 ans 2/3; celle des rails parallèles 13 ans; celle des rails à double T, 12 ans 1/3. Le service déjà fait par les rails restant dans les voies aura été, jusqu'à ce jour :

Rails ondulés, 17 ans 2/3; parallèles, 15 ans 1/4; rails double T, 7 ans; Vignole, 10 mois.

Des rails ondulés ont duré 24 ans; des rails parallèles (25 à 27 kil.) ont duré 22 ans.

Le poids des rails à refaçonner a été de. . . .	59,879,854 kil.
qui ont produit en rails refaçonnés.	40,490,443 —
Les déchets de refaçon ont été de.	19,389,411 —

Le produit a été de 67,5 p. 100, et le déchet de 32,5 p. 100. Le rendement est aujourd'hui de 789,28 kilog. de rails neufs pour 1000 kilog. de vieux rails. Le déchet est réduit à 21 p. 100.

En 18 ans, la valeur des produits en rails remaniés a été de 7,634,500 fr.; l'année 1862 entre dans ce chiffre pour 983,500 fr.

Depuis 1860, le nombre des rails double T, employés dans la construc-

tion et dans l'entretien diminue rapidement, tandis que celui des rails Vignole s'accroît dans une très-forte proportion.

Le poids des coussinets à refondre a été de.. . . . . 27,669,235 kil.
Celui des coussinets refaçonnés a été de. 17,854,443

« Les remplacements exécutés dans les conditions qui précèdent améliorent la voie. La valeur du chemin s'est donc accrue, par le poids ajouté aux rails, de 3,940,714 fr. (compte rendu de 1863). »

Quant aux traverses, les chiffres suivants donnent une idée suffisante de leur durée :

TRAVERSES.	TRAVERSES		TOTAL.
	en chêne.	autres essences.	
Employées depuis l'origine (27 ans) dans la construction.....	1.066.494	720.607	1.787.101
— dans l'entretien.....	1.068.048	769.705	1.837.753
Ensemble.....	2.134.542	1.490.312	3.624.854
Il a été ôté des voies.....	1.081.465	768.316	1.849.781
Il reste dans les voies, 31 septem. 1861.	1.053.077	721.996	1.775.073

Durée moyenne des traverses mises hors de service : en chêne, 11 ans 1/2; autres essences, 7 ans 10 mois.

Ces chiffres expliquent comment les traverses anciennes ne peuvent rentrer dans la voie lors du renouvellement des rails.

La somme consacrée dans le renouvellement des voies du chemin de fer de l'État varie chaque année, quant aux matériaux, entre 598,600 fr. et 1,161,000 fr.

La valeur de l'opération du refaçonnage s'élève, pour toute la période de 1845 à 1862, à 10,106,600 fr.

Aujourd'hui le poids des rails composant la voie est :

En rails ondulés de 19 à 22 kilog. le mètre. . . .	1,240 tonnes.
En rails parallèles de 25 à 27 kilog. le mètre. . .	6,585 —
En rails double T de 34 kilog. le mètre.	97,700 —
En rails Vignole de 38 kilog. le mètre.	13,700 —
Total.	119,225 tonnes.

Les rails hors de service retirés des voies en 1861 et 1862 étaient en poids :

	1861	1862
Rails ondulés.	155 tonnes.	135 tonnes.
Rails parallèles.	2,431 —	4,090 —
Rails double T	3,788 —	2,668 —
Vignole	— —	34 —
Total. . . .	6,374 tonnes.	6,922 tonnes.

C'est 5,42 p. 100; mais le rail double T, qui n'est entré dans la composition de la voie que de 1846 à 1858, qui n'avait par conséquent que 11 années de durée moyenne en 1861, entre pour une part déjà importante dans le renouvellement de la voie.

En 1861, le nombre des rails retirés des voies composait 106 kilomètres de voies; en 1862, 115 kilomètres. Ces nombres dépassaient du tiers la moyenne des années précédentes. Tout autorise à croire que la progression du renouvellement est ascendante.

Chemin de fer du Nord français.

La Compagnie a dépensé 12,479,988 fr. pour substituer à la voie en rails de 30 kilog. une voie composée de rails éclissés du poids de 37 kilog. C'est une dépense de 18,800 fr. par kilom. de simple voie; la longueur, ainsi renouvelée à partir de 1853, a été de 340 kilom.; elle datait de 1846. Plus de la moitié de la dépense, 6,432,788 fr., a été portée au compte de l'entretien; l'autre, étant considérée comme plus-value, a été portée au compte de capital. Depuis, la Compagnie a renouvelé la voie de la ligne de Boulogne à Amiens, qui avait également été posée en rails de 30 kilog.; elle avait 13 ans de service, et la perte de poids des rails a été de 1k,45; la dépense entière de ce renouvellement a porté sur le compte d'entretien.

«Assurément nous aurions pu, dit le rapport qui explique la mesure prise par la Compagnie (1853), en restant dans les conditions prévues de nos transports, conserver longtemps sur notre ligne principale les rails de 30 kilogr., surtout depuis que, par l'addition de nouvelles traverses, nous avons augmenté d'un quart le nombre des points d'appui. Mais, en entrant dans le système des lourds convois pour le transport économique des marchandises, il nous fallait devancer l'époque où notre voie devait être mise en harmonie avec notre matériel, afin d'éviter une détérioration qui aurait pu être rapide, et qui, dans tous les cas, aurait entraîné des frais d'entretien annuels bien supérieurs à l'intérêt du capital nouveau, dont une reconstruction complète rendra l'emploi nécessaire. »

L'avenir était, on le voit, sainement apprécié. Le renouvellement a été terminé en 1860. La nouvelle voie du Nord a donc aujourd'hui un âge moyen de 6 ans et demi environ. Les trains express présentent sur cette ligne un confort suffisant aux vitesses réglementaires.

Chemin de fer de l'Est.

La ligne de Paris à Strasbourg date de 1849-50-51-52. Ce n'est qu'e 1860 que les premiers besoins du renouvellement de la voie se font sentir. « L'ancien réseau arrive, dit le rapport (1861), sur plusieurs points à sa période de réfection complète, et des sommes importantes devront être dépensées chaque année pour ce travail. Il est bien difficile de fixer une limite exacte entre le travail d'entretien et le travail de réfection. Nous imputons, quant à présent à l'entretien, toutes les dépenses journalières qu'exige la conservation de la voie et des bâtiments; et au compte de la réfection les grosses fournitures du matériel fixe.

L'année suivante (rapport de 1862), la Compagnie exprime l'opinion que la dépense de réfection des voies doit incomber entièrement au compte d'exploitation. « En effet, lorsque les voies d'un grand réseau sont arrivées à un certain degré d'usure (fatigue et altération), leur réfection totale ou partielle donne lieu à un travail incessant qui ne peut plus s'arrêter, et l'on est conduit ainsi à renouveler toutes les voies par un roulement continu et sans fin. Ces réfections successives et les perfectionnements qui en résultent ne sont que l'entretien d'un instrument qui doit toujours être maintenu en bon état, de manière à répondre aux besoins du service courant. Une dépense de cette nature ne peut être indéfiniment portée au compte capital. »

La dépense de réfection (fournitures du matériel fixe de la voie) avait été en 1860 de. . . . . 610,000 francs.
Elle s'est élevée en 1861 à. . . . . 4,941,315 »
et en 1862 à. . . . . 3,439,000 »

On peut se rendre approximativement compte de l'importance du renouvellement qu'expriment ces chiffres, en comparant le prix des matériaux neufs de la voie nouvelle avec celui de la voie ancienne.

Quantités et prix par mètre courant des matériaux entrant dans la voie actuelle et sortant de la voie ancienne.

DÉSIGNATIONS.	VOIE NOUVELLE. Matériaux neufs.	VOIE ANCIENNE. Vieilles matières.	
	fr. c.		
Rails à 200 fr. la tonne.....	14.85	A 101f.60	7f.62
Coussinets à 155 fr. la tonne.....	3.10	75	1 .55
Chevillettes à 300 fr. la tonne.....	0.50	60	.10
Coins à 90 fr. le mille.....	0.18		»
Éclisses à 259 fr. la tonne.....	0.82	65	0 .21
Boulons d'éclisses à 460 fr. la tonne..	0.37	115	0 .12
1,10 traverses à 4 fr. 50 c. l'une....	4.95	1 40	1 .50
	24.77		11 .10
Dépose et pose d'un mètre. Sabotage et transports; surveillance.....	5		
	29.77		
A déduire le produit.....	11.10		
Reste.....	18.67		

Ce chiffre est, sensiblement, celui qui a été dépensé par la Compagnie du chemin de fer du Nord; mais nous ignorons si les éléments qui le composent sont semblables.

En ne comptant que le prix des matériaux, la dépense de renouvellement d'un mètre courant de voie correspondrait à 24 fr.77—11 fr. 10=13 fr. 67, et les 8,990,315 fr. dépensés par la Compagnie de l'Est en 1860-61-62 auraient permis le renouvellement de 658 kilomètres de simple voie ou 329 kilomètres de double voie; l'ancien réseau ayant 974 kilom., le tiers environ aurait été renouvelé fin 1862.

Chemin de fer de Paris à Orléans.

Le rapport de 1853 s'exprime sur la nécessité du renouvellement de la voie dans les termes suivants : « Depuis longtemps nous avions entrepris de renforcer la voie en remplaçant successivement par des rails de 36 kilog. les anciens rails de 30 kilog., trop faibles aujourd'hui pour notre trafic. Nous profitons de l'ouverture des prolongements pour activer cette opération en employant comme voie de service ou de garage les rails que nous retirons des voies principales d'Orléans.

La voie de Juvisy à Orléans avait alors dix ans.

« L'année suivante 1854, le rapport dit : « Sur la section d'Orléans, qui est exploitée depuis onze ans, la voie est entrée dans la période des grands renouvellements. En 1853, 14 kilom. de voie simple ont été renouvelés en rails de 36 kilog.

« En 1854, il avait été renouvelé 35 kilom.; en 1855, 70 kilom. Mais le développement de la circulation, l'augmentation du poids du matériel ont rendu indispensable de placer 6 traverses, au lieu de 5, sous chaque rail, et de consolider les joints par des éclisses.

« Le renouvellement a été achevé en 1856 (rapport de 1857); il a coûté 2,970,726 fr,, déduction faite du produit des anciens matériaux. Cette dépense est imputée au budget de l'exploitation. »

Pour 242 kilomètres de simple voie, c'est 11,200 fr. par kilomètre. L'économie du travail tient ici au réemploi plus étendu des matériaux retirés de la voie. « 60 kilom. de voie simple sont renouvelés sur la ligne d'Orléans à Tours; cette voie avait onze ans de service; les matériaux retirés servent à l'entretien des voies du même modèle entre Orléans et Bordeaux. »

« Chaque exercice portera ainsi sa part de cette charge si importante du renouvellement des voies. »

(Rapport de 1858.) « Sur le Centre, ainsi qu'entre Orléans et Tours, le renouvellement des voies fait de nouveaux progrès. »

1859. « Entre Tours et Bordeaux, consolidation des rails par l'addition d'une traverse et la pose d'éclisses. »

1860. «Avant la fin de l'année, la transformation ou la consolidation des voies que l'expérience signalait comme trop faibles sera achevée sur l'ensemble du réseau, à 30 kilom. près. »

1861. « La voie entre Paris et Tours est transformée (après 15 ans de service). Ce travail de renouvellement, qui pèse tout entier sur le compte de l'exploitation, attire toute notre attention. Depuis 1852, la dépense s'en élève à 11,000,000 fr. »

1862. « L'année 1861 a pris, comme les précédentes, une large part dans la réfection de nos voies, 2,461,952 fr. »

1863. « Nous avons largement pourvu aux besoins du renouvellement des voies (2,400,000 fr.). »

Les dépenses de l'opération sont, en effet, exclusivement portées aux comptes annuels comme suit :

De 1852 à 1856.		2,709,726 fr.
En	1857.	1,065,775
	1858.	1,412,317
	1859.	2,276,531
	1860.	2,772,314
	1861.	2,461,952
	1862.	2,400,000
		15,098,615 fr.

Au coût de 22,400 fr. par kilom. renouvelé, cette dépense correspondrait à 674 kilom.; le réseau ancien, alors exploité, en avait 1615.

En 1856, 121 kilom. renouvelés avaient 13 ans; les 553 kilom. renou-

velés depuis 1856 datent en moyenne de 1848. La période de durée moyenne serait donc de 11 ans.

Mais ces chiffres n'ont rien d'absolu, parce que l'opération semble être ici un mélange de transformation et de réfection ou renouvellement dont les éléments ne peuvent pas être rapportés à une unité de longueur.

Néanmoins les chiffres produits par la Compagnie jettent une grande lumière sur la question.

Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

C'est dans le rapport de 1860 que se montrent les premières prévisions d'un renouvellement des voies. Il est question de créer un fonds de réserve pour cette éventualité. Cette année l'éclissage a été commencé.

1861. « Les dépenses de la voie présentent seules une augmentation qui s'explique par les réparations extraordinaires et des renouvellements. »

1862. « Sur plusieurs sections de notre réseau, et notamment sur celle de Marseille à Avignon (13 ans de service) et de Nîmes à Alais (ouverte en 1840), nous procédons à la réfection complète des voies; sur plusieurs autres nous effectuons des renouvellements partiels. Enfin nous poursuivons avec toute l'activité possible l'éclissage de la ligne principale et de ses embranchements les plus importants. Nous portons ces dépenses en totalité dans les frais d'entretien. Ces dépenses vont s'accroître pendant les deux années qui vont suivre. »

1863. « L'éclissage qui a été continué en 1862 n'est mis au compte de premier établissement que pour la fourniture des éclisses. Cette opération se combine avec le renouvellement complet de la voie; et toute la main-d'œuvre, ainsi que la fourniture des matériaux de la voie, restent à la charge de l'entretien. »

Conformément à ces dispositions, la Compagnie a ouvert à l'entretien et au renouvellement des voies deux comptes, l'un de main-d'œuvre, l'autre de matériaux. Ce dernier, qui présente le plus d'intérêt, comprend malheureusement des éléments qui lui ôtent une partie de sa signification quant au renouvellement des voies. En voici le relevé depuis 1853. Nous y avons ajouté la longueur du réseau exploité et la dépense, par kilomètre exploité, en matériaux et main-d'œuvre.

DÉSIGNATIONS.		MATÉRIAUX.	LONGUEUR du réseau exploité.	DÉPENSE par kilom. exploité. Matériaux.	DÉPENSE de main-d'œuvre par kilomètre exploité.
Dépense en ballast.....	1853	363.300	383k	948	1.010
Matériaux de la voie, des gares; terrassements et ouvrages d'art, éclissage de la voie..	1854	372.665	435	855	1.182
	1855	729.685	539	1.351	1.130
	1856	1.130.666	610	1.850	1.265
	1857	2.741.441	1231	2.220	1.257
	1858	2.431.015	1304	1.860	1.270
	1859	2.959.632	1388	2.135	1.172
	1860	3.898.083	1410	2.755	1.298
	1861	5.276.469	1411	3.740	1.297
	1862	6.989.195	1655	4 225	1.350

La surveillance de la voie, les signaux et le service des ingénieurs et des bureaux de la voie sont en dehors de cette dépense. Ils ont coûté, en 1862, 1,317 fr. par kilomètre exploité, soit ensemble 6,892 fr. par kilomètre. On peut admettre que les dépenses propres de renouvellement entrent pour 3,000 à 3,500 fr. dans le chiffre qui précède. Cela suppose une grande activité imprimée à ce travail.

La ligne de Marseille à Avignon et celle de Nîmes à Alais avaient une durée moyenne de 13 ans. Lors du renouvellement des voies, des rails retirés, après 15 ans 1/2 de service, avaient perdu en poids 0k,625 gr. par mètre.

Sur la section de Sens à Tonnerre, après 14 ans de service, perte 1 ,23 par mètre.

Sur la section :

De Dijon à Chalons,	après 14 ans	de service, perte par mètre. .	1,62
De Mâcon à Paris,	9 ans	—	1,76
De Tarascon à Nîmes,	23 ans	—	0,465
De Nîmes à Lunel,	18 ans	—	0,708
De Chalons à Mâcon,	9 ans	—	1,62

Nous le répétons, les causes qui exigent le renouvellement des voies ne sont par perceptibles par l'usure des rails, parce que celle-ci est à peine sensible, mais par leur déformation, par leur altération générale, par la dislocation des attaches des éléments entre eux. La perte de poids est un élément d'appréciation de la qualité des rails, et sous ce rapport les rails fabriqués dans les premières années l'emportent, en beaucoup de cas, sur ceux qui ont été fabriqués depuis 10 à 15 ans.

Chemin de fer de l'Ouest.

La Compagnie du chemin de fer de l'Ouest a accompli le renouvelle-

ment des voies de la ligne de Paris à Rouen, de Rouen au Havre et à Dieppe; celles de Paris à Versailles rive droite et rive gauche, à Saint-Germain, Argenteuil et Auteuil ont été également renouvelées. Nous avons indiqué, dans la première partie de cette étude, les intéressants résultats observés, lors du renouvellement, par M. Émile Clerc, ingénieur de la Compagnie.

Chemin de fer du Midi.

L'expérience qui a été faite sur cette ligne d'une voie exclusivement en fer, a un grand intérêt. Les motifs qui militaient en faveur de ce système sont connus de tous les ingénieurs qui ont l'expérience des défauts de la voie ordinaire, mais les motifs qui en doivent faire repousser l'emploi, après cette grande expérience, sont moins connus et méritent de l'être. Le rail Barlow, pour la fabrication duquel les deux usines françaises qui l'avaient entrepris ont échoué, exige, à cause de sa forme, l'emploi d'un fer bien soudant et de très-bonne qualité. Aussi les rails fabriqués en Angleterre étaient-ils très-supérieurs, *comme matière*, aux rails ordinaires. Ils leur étaient cependant très-inférieurs *comme rails*.

La cause de cette infériorité a été longtemps inconnue : elle ne s'est révélée que par la nature des détériorations que les rails ont subies en service.

Ces détériorations accusaient, en effet, un grand défaut d'homogénéité. La matière semblait avoir subi dans le travail du laminage un désordre constant dans sa distribution. Celle qui devait former la table était dans les ailes et réciproquement. Les dessoudages étaient très-fréquents, l'écrasement de la table suivait vers les ailes des directions toujours semblables, c'est-à-dire affectant un même angle avec l'axe du rail. La désorganisation du rail prouvait que la matière ne s'était pas étirée sous le laminoir à une vitesse égale et qu'une partie s'était allongée beaucoup plus vite que l'autre. Cela s'explique : le rail Barlow est, dans le sens du laminage, double de hauteur du rail ordinaire. Celui-ci a 60 à 65 millimètres d'épaisseur maxima dans les cannelures du laminoir, tandis que le rail Barlow en a 130 à 135. De plus, le fer est distribué à peu près également dans la section du rail double T, tandis qu'il l'est très-inégalement dans la section du Barlow; les ailes, étant très-minces, se refroidissent plus vite que le corps. On sait que, pour que le fer sorte facilement des laminoirs, on donne à ceux-ci des diamètres différents. Celui du laminoir inférieur est plus faible que l'autre. Sa vitesse de rotation est donc moindre à la circonférence. La différence de diamètre et de vitesse de rotation est ainsi en raison de la hauteur même de la cannelure et de la pénétration de la saillie du cylindre mâle dans la cannelure du cylindre femelle. Il résultait de là une triple cause de désordre dans le laminage. Les ailes étaient étirées à une vitesse très-différente de la table et l'éti-

rage était inégalement réparti à chaque passage, à cause du refroidissement des ailes ; la pâte ainsi torturée perdait son homogénéité, et les ailes étaient en partie écrouies. Ces difficultés expliquent pourquoi, malgré une installation de laminoirs très-supérieure à ce qui se faisait en Angleterre, le fer fabriqué avec le minerai carbonaté des houillères de Decazeville n'a pu supporter le laminage en rails Barlow, tandis que, dans la forme double T, le laminage de ce même fer est facile et régulier.

Le rail Barlow était donc mauvais, et cela seul aurait amené sa rapide destruction. Mais le système d'une voie exclusivement en fer et noyée dans le ballast avait d'autres inconvénients qui durent faire renoncer même à l'idée de perfectionner les procédés de laminage : l'assemblage des rails entre eux avait lieu au moyen de selles en tôle rivées aux deux rails, et la rivure prenant constamment du jeu nécessitait un entretien très-dispendieux. Le remplacement d'un rail était une longue opération ; de plus, la forme même du rail tenait les eaux pluviales en permanence près des rails et à l'intérieur de la voie : celle-ci devenait alors mobile dans les temps humides; dans les temps secs, au contraire, le ballast répandu en poussière sur les ailes du rail se soulevait et causait un malaise que la chaleur aggravait. Ce que ces inconvénients ont eu d'imprévu suffirait à expliquer l'adoption première du système et qu'il ait été abandonné. C'était au moment où l'éclissage venait donner, à la voie ordinaire, tous les avantages des voies sur longrines avec ceux de l'emploi des traverses qui rendent l'assainissement très-facile.

Une autre circonstance a accéléré la destruction des rails Barlow et Brunel, c'est le service en simple voie. L'altération est beaucoup plus rapide dans ce cas. En voici un exemple entre plusieurs :

La garantie restait à régler pour 6,000 tonnes de rails ordinaires double T, après deux ans de service. Ces rails, fournis par le même fabricant, étaient exceptionnellement mauvais : les rebuts avaient été en moyenne de 53 p. 100, et, sur une petite partie posée en double voie, ils n'avaient été que de 20 p. 100.

La durée moyenne de la voie Barlow, en simple voie, a été de 6 ans et 7 mois, et celle de la voie Brunel de 7 ans et 1 mois.

La durée de la voie double, en rails Barlow, a été de 8 ans, et celle de la voie Brunel de 9 ans.

Dans le renouvellement, la voie Barlow a fourni 104 kilog. de fer par mètre courant, ce qui, au rendement de 80 p. 100, produit 1,06 mètre courant de voie ordinaire en rails de 37 kilogrammes.

Le rendement de 80 p. 100 que nous supposons ici, d'après le résultat récent des transformations en Belgique, peut être considéré comme faible, les rails Barlow étant généralement transformés, par les fabricants, en fer du commerce, tôle et échantillons exigeant de la qualité.

§ V. — DES SYSTÈMES DE VOIE CONSIDÉRÉS AU POINT DE VUE DU RENOUVELLEMENT.

Deux formes de rails sont seules généralement employées : le rail double T et le rail Vignole. L'expérience n'a pas encore indiqué d'une manière précise la supériorité de l'un sur l'autre, et les ingénieurs sont encore partagés entre les deux systèmes de voie.

Diffèrent-ils par des conditions essentielles ou par des nuances seulement?

Comme forme de plus grande résistance, le rail Vignole ne le cède pas au rail double T quand sa hauteur est la même, en ce sens que sa base qui résiste à la traction a une section très-avantageuse; mais il n'est pas encastré comme l'est le rail double T, dans les coussinets, et, à égalité de distance des points d'appui, il serait plus faible; mais, en compensation, à égalité de dépense, ces points d'appui peuvent être plus rapprochés, les coussinets seuls coûtant plus de la moitié d'une traverse.

Dans la voie Vignole, la traverse est amenée, par le bourrage, exactement au contact du rail, dans toute sa largeur; c'est là une excellente condition de stabilité.

Le rail Vignole est plus mobile sur les traverses, mais il y repose sur de plus grandes surfaces. Il est donc moins susceptible de torsion sous le poids des machines, mais, par sa mobilité, il est plus sujet au serpentage.

Les traverses sont, dans la voie Vignole, plus à fleur de terre de 4 à 5 centimètres que dans la voie ordinaire, ce qui a une influence défavorable sur leur durée.

Le rail de la voie Vignole peut être renouvelé seul et abstraction faite des autres éléments constitutifs de la voie. Il n'en est pas de même du rail double T; son renouvellement emporte celui de tous les éléments de la voie. Le calcul suivant indique la conséquence économique qui en résulte :

Le renouvellement de la voie double T coûte, par kilomètre.			29,770f
Il reste en matières.			11,100
La dépense réelle est, par kilomètre, de			18,670
Le renouvellement de la voie Vignole coûte, rails...	14,850f	16,350	
Transports, dépose et repose.	1,500		
Sur lesquels il rentre, en vieux rails.		7,420	
Reste en dépense.			8,930
Différence, par kilomètre, en faveur de la voie Vignole. . . .			9,740

Si la durée moyenne des voies est de quinze ans, la somme que représente le renouvellement serait de 1,240 fr. par kilomètre et par an dans le système en rails double T; et de 596 fr. dans le système en rails Vignole.

§ VI. — DURÉE MOYENNE DES VOIES. — RÉSUMÉ DE L'INFLUENCE DE LA QUALITÉ, DE LA FORME ET DU POIDS DES RAILS SUR CETTE DURÉE. — CONCLUSION.

Il résulte des faits que nous avons produits, qu'on peut attribuer une durée moyenne de douze années, aux voies actuelles, dans les parties où la recette kilométrique varie entre 50 et 60,000 fr.

La circulation des trains n'est pas la seule cause de destruction; l'influence atmosphérique en est une aussi; l'altération des traverses, qui en est la conséquence, éprouve sérieusement les rails; l'emploi de la voie unique accélère également la désorganisation de la voie.

Il semble convenable d'admettre une durée de quinze ans comme une moyenne attribuable à l'ensemble des réseaux.

Dans les différentes formes d'altération des rails, on reconnaît au dessoudage et à la chute des fragments leur défaut de malléabilité; à l'aplatissement de la table de roulement le défaut de ténacité; à l'écrasement et au déchirage du bord extérieur de la table l'influence de la saillie produite par la gorge creusée dans le bandage; on reconnaît au mattage des rails dans les coussinets la trop faible surface d'appui et la mobilité de l'assemblage. Ainsi, le fer des rails n'est pas assez malléable, assez tenace; la table de roulement n'est pas assez large. Le corps du rail n'est pas assez résistant; sa surface d'appui dans les coussinets n'est pas assez grande. Enfin, le renouvellement exige la refaçon complète des rails.

Si le rail était plus malléable, c'est-à-dire plus homogène, il pourrait recevoir à froid les pressions les plus énergiques sans se séparer en fragments. Ce résultat serait obtenu si l'emploi de certains minerais de très-basse qualité et celui des scories était interdit dans les hauts fourneaux produisant la fonte à rails, et si le rail était, comme le fer marchand, tout entier, *de seconde opération*.

Si la table de roulement des rails était assez large pour empêcher toute formation de la gorge qu'affectent les bandages après quelques milliers de kilomètres parcourus, on éviterait la plus forte cause d'altération des rails, celle qui amène la chute des fragments longitudinaux.

Si le rail était plus haut et plus épais, il serait beaucoup plus résistant; les traverses seraient moins mobiles, elles seraient mieux fixées dans le ballast; le bourrage serait bien plus facile et pourrait être moins fréquent.

Enfin, quand les rails altérés devraient être enlevés de la voie, il serait facile de les étirer simplement, à la température nécessaire pour le laminage; un rail de 6 mètres pourrait être ainsi amené à 8 ou 9 mètres de longueur, avec une section réduite et avec un simple déchet de 5 à 10 p. 0/0. Cela permettrait de faire entrer les rails anciens dans la construction des embranchements au poids et à la section du rail actuel. Un rail de 50 à

60 kilog. par mètre courant, en fer n° 2, remplirait les conditions ci-dessus.

Les progrès de la métallurgie ne permettent aucun doute sur la facilité de cette opération. La chauffe à blanc sur des longueurs de 6 mètres n'est plus une nouveauté.

En doublant, par l'accroissement des dimensions et la bonne qualité des rails, la résistance de la voie, en y ajoutant la force et la précision des assemblages, et un bourrage plus rigide, on réaliserait une double économie sur l'entretien et le renouvellement de la voie, sur l'entretien des bandages et sur la conservation du matériel, et on ajouterait à ces avantages une plus grande faculté de vitesse de circulation pour les trains rapides.

Dès aujourd'hui, il y a lieu de croire que les rails de 37 kilog. sont destinés à disparaître des sections de voie très-fréquentées, comme ont disparu ceux de 30 kilog. On commencera par en améliorer la qualité et on en viendra à accroître les dimensions, parce que la forme de l'usure des bandages en indique la nécessité et qu'une hauteur de 130 millimètres ne donne pas une résistance suffisante pour le poids des roues motrices des machines. 25 à 30 kilog. de fer ajoutés au poids des rails actuels n'accroîtront le coût primitif de la voie que dans une faible proportion, et, comme la nouvelle forme du rail en permettra la refaçon par le simple laminage avec un déchet de 10 p. 0/0 au plus, au lieu de 21 p. 0/0, il y a lieu d'espérer que, loin de charger l'exploitation, cette transformation diminuerait ultérieurement ses dépenses. Aujourd'hui toutes les Compagnies portent au compte d'exploitation le renouvellement des voies en rails plus pesants et éclissés, et en traverses plus longues; ce progrès s'étendrait évidemment, si on avait la certitude qu'en améliorant la qualité des rails et en augmentant leurs dimensions, on éloignerait les renouvellements, ou diminuerait la dépense d'entretien de la voie et du matériel, tout en réalisant de nouvelles économies sur le transport.

La faible durée de la voie actuelle dans les sections très-fréquentées est un indice qu'il ne faut pas négliger. Seul, il suffirait à démontrer l'importance de la question et l'opportunité de l'examiner. Cette première étude n'en est qu'une très-faible et trop rapide ébauche.

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture et Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.

Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.

Agriculture (Cours de M. Gasparin).

Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.

Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.

Comité central agricole de la Sologne (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1861).

Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.

Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.

Études géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Études géologiques sur le Jura neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.

Étude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.

Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et de Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.

Guide du draineur, par M. Faure.

Géologie du Pérou, par M. Crosnier.

Géologie du Chili par M. Crosnier.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.

Irrigation ; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.

Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.

Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Note sur les puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Progrès de l'Agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.
Rapport sur les eaux de la ville de Liége, par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Recherches sur les eaux employées dans les irrigations, par MM. Salvetat et Chevandier.
Revue de géologie pour l'année 1863, par MM. Delesse et Laugel.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.
Vignes du Midi, par M. Marès.

Chemins de fer.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes dans le journal *le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Émile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Améliorations à introduire dans l'exploitation des chemins de fer, par M. Bordon.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. M. Grivel.
Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Bagues en fonte applicable à la voie Vignole, par M. Desbrière.
Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi, remis par MM. Bellier et Bommard.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemins de fer, par M. Sambuc.
Chemins de fer d'Angleterre en 1854. Matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration, législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemins de fer à bon marché (Rapport sur les), par M. Bergeron.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer hydraulique. Distribution d'eau et irrigations, par M. L.-D. Girard.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. Émile et Alexis Barrault.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain, à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.

Chemins de fer suisses (Rapport sur les).
Chemin de fer de Marseille au Rhône et à Avignon (Rapport de l'assemblée générale du).
Chemin entre Vitry et Gray, par M. Brière de Mondétour.
Chemin de fer de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer Victor-Emmanuel (Cahier des charges), par M. Capuccio.
Chemins de fer à courbe de petits rayons (Système applicable aux), par M. Aubry.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans (Les), par M. Audiganne.
Chemin de fer de la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. de Fontenay.
Comptes rendus des opérations du chemin de fer de l'État belge.
Considérations sur les serre-rails et table-rails, par M. Barberot.
Consultations sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Croisements des voies par M. Le Cler.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Eclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Électricité (l') et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Électricité (l') et les chemins de fer, par M. Émile With.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît-Duportail.
Frein automoteur (Rapport), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynanométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Géométrie des courbes et gravages des voies de chemins de fer, par M. V. Pron.
Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 pour 100, par M. Cernuschi.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Manuel Roret (Construction des chemins de fer), par M. Émile With.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoît-Duportail.
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Programme de concours pour une machine pour le chemin de fer du Semmering. Consul d'Autriche.
Rapport sur les chemins de fer neuchâtelois, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport des Commissions sur l'application du fer dans la construction des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer Hainaut et Flandres.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Résistance dans le passage des courbes dans les chemins de fer, par M. Wissocq, ingénieur des mines.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.
Signaux fixes (pose et manœuvre) du chemin de fer de Lyon, par M. Marié.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Sur les chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Emile With.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. Adhémar.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement du chemin de fer conduisant au camp de Châlons, par M. Vuigner.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Eugène Flachat.
Traversée du Simplon, par M. Jaquemin.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.

Chimie et Physique.

Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel et comp.
Assainissement de la savonnerie de MM. Ariot et comp., par M. Félix Foucou.
Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.
Chimie industrielle (Précis de) (texte et planches ensemble), par M. Payen.
Coloration et conservation des bois. Réponse au Rapport des experts, par M. Gardissal.
Combustion de la fumée et des gaz combustibles; par M. Petitpierre Pellion.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois (Notice), par MM. J.-B. Perin et Meyer d'Uslar.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Considération chimique et pratique sur la combustion du charbon, par M. Williams.
Conservation des bois, procédé de MM. Legé et Fleury-Perronnet.

De l'éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry père.
Dictionnaire des analyses chimiques, par MM. Violette et Archambault.
Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des incrustations salines, par M. Guinon.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière. l'électricité, etc., par M. Love.
Études sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny (d'Évreux).
Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.
Fourneaux fumivores. Historique et état actuel de la question, par M. Wolski.
Fabrication du gaz à la houille et du gaz à l'eau, par M. Faure.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
Guide de chimie agricole, par M. Basset.
Imprégnation des bois, par M. Poutren.
Introduction à l'histoire de la chimie, par M. Liebig.
Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.
Mémoire sur la gélatine, par M. de Puymaurin.
Minium de fer.
Nouvelles manipulations chimiques, par M. Violette.
Nouvelle méthode pour reconnaître et pour déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le Dr W. Bichon.
Précis élémentaire de chimie, par M. Garnier.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique, remis pas M. Mesdach.
Recherches sur la composition des matières employées dans la fabrication et la décoration de la porcelaine en Chine, par MM. Salvetat et Ebelmen.
Rapport sur les arts céramiques fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Rouges d'aniline (mémoire sur les), par M. le docteur E. Jacquemin.
Rouges d'aniline, l'azaléine et la fuschine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuschine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou application des silicates alcalins solubles au durcissement de pierres poreuses, par M. Kuhlmann.
Traité de l'éclairage, par M. Péclet.
Traité élémentaire du calorique latent, par M. Jullien.
Traité pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg. Traduit de l'anglais par M. Servier.

Construction et Travaux publics.

NAVIGATION, VOIRIE.

Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Amélioration de l'abri des troupes en campagne, par M. P. Barbe.
Appareil de plongeur, le scaphandre, de M. Cabirol.

Application de la tôle à la construction des ponts du chemin de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon-Villarceau.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Assainissement de Paris, par M. Beaudemoulin.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Canal du Berri (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez. Question du tracé, par MM. Alexis et Émile Barrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Cathédrale de Bayeux, reprise en sous-œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.
Chemins de halage et berges des canaux d'Angleterre et d'Écosse, par M. E. Vuigner.
Chemins vicinaux, par M. E. Volland.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice), par M. Toni Fontenay.
Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Toni Fontenay.
Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Construction des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.
Cours de construction, par M. Demanet.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Marseille (Projet de), par M. Flachat.
Docks-Entrepôts de la Villette, par M. Vuigner.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.
Eaux de Seine de Saint-Cloud amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Égouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par M. Versluys.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin, par M. Maréchal.
Études architecturales à Londres en 1862, par M. Émile Trélat.
Études sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F.-N. Mellet.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Émile Muller.
Inondations souterraines, par M. Vuigner.
Instructions données dans le service des eaux et des égouts, avec cartes.
L'Opéra et le Théâtre de la Seine, par M. Barthélemy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle, par M. Delesse.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.

Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Notice sur la brouette, par M. Andraud.
Notice sur les eaux de Paris, par M. Ch. Laurent.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, M. Hérard.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question), par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond.
Percement de l'isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Planchers et poutres en fer, par M. César Jolly.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-Georges, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu; par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des bétons agglomérés à base de chaux, par M. François Coignet.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Stabilité des ouvrages d'art destinés à porter de grands remblais, par M Bernard.
Tables de coefficients, par M. Lefrançois.
Théorie pratique, et architecture de ponts, par M. Brunell.
Traité sur l'art de faire de bons mortiers, par M. Rancourt.
Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer, par M. Bruère.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gassend.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Traversée des Alpes, percement du mont Cenis, par M. Sommeiller.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (Avant-Projet d'un), par M. Thomé de Gamond.

Divers.

OUVRAGES DÉPAREILLÉS.

Album des types des fers Zores.
Album des fers spéciaux de la Société des hauts fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.
Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.

Alimentation en eau de Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Almanach-Annuaire du bâtiment, par M. Sageret.
Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Aide-Mémoire des ingénieurs, par M. T. Richard.
Appareil de plongeur, le Scaphandre, de M. Cabirol.
Appareils photographiques, par M. Charles Brooke.
Avant-projet de chemin de fer pour le Simplon, par M. Jacquemin.
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Calorifères à eau chaude et à petits tuyaux, par MM. Gallibour et Gaudillot.
Canal Cavour. Halian irrigation canal Company.
Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.
Chemins (les) de fer, par M. E. Flachat.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.
Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophyte, par M. Ebray.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Conseiller du débitant, par M. Du Liége.
Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.
Conservation (sur la) des grains par l'ensilage, par M. Léon Malo.
Construction et emploi du microscope, par M. Charles Chevalier.
Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.
Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'école centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.
Cours complet de topographie et de géodésie, par M. Benoit.
Culture maraîchère, par M. Courtois-Gérard.
De la tourbe, étude sur les combustibles employés dans l'industrie, par Challeton.
Dérivation de la Somme-Soude et du Morin, par M. Dugué.
Des voies navigables en Belgique, par M. l'inspecteur Vifquain.
Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.
Distributions d'eau, par M. Aristide Dumont.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Documents sur les eaux de Paris.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Eaux de Paris (Les), par MM. Sébillot et Manguin.
Écoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Études sur la navigation, par M. Bounican.
Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Porro Félix, et Porro Ignace.
Excursion en Angleterre et en Écosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent Africain, par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.

Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes plein-cintre, anse de panier, et arcs de cercle, par M. Marguet.
Géométrie descriptive (Éléments), par M. Babinet.
Gréement, par M. Bréart.
Guide du bijoutier, par M. Moreau.
Guide du photographe, par M. Charles Chevalier.
Guide du sténographe, par M. Tondeur.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
Guide pratique de la meunerie et de la boulangerie, par M. Marmay.
L'art du briquetier, par M. Challeton.
La chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec, par MM. Vincent et Prou.
La Russie et ses chemins de fer, par M. Émile Barrault.
La science populaire, par M. Rambosson.
L'enseignement des beaux-arts, par M. Émile Trélat.
Les chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Ligne de télégraphe, par M. Vérard.
L'ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Emile With.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Matières textiles, par M. Alcan.
Méthodes photographiques, par M. Chevalier.
Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Notice sur J.-P.-J. d'Arct.
Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notice sur Saint-Nazaire.
Notice sur le pont suspendu de Castelfranc, système Cadiat et Oudry.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Nouveau Cosmos, par M. Dubois.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet de budget des dépenses d'une compagnie de chemin de fer, par M. Frédéric Hubert.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Projet d'une ligne télégraphique continentale entre la France et les États-Unis, par l'Europe et l'Asie, par M. P. Jousselin.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne, par M. Charles Laurent.

Rapport de M. Alcan sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heimann.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Registre des chevaux pur sang.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Suppression du canal Saint-Martin et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rit et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, par M. Barman, ancien ministre plénipotentiaire, colonel fédéral.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.
Télégraphie électrique, par M. Miége.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Transports pneumatiques, par M. Léon Malo.
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des Nations (Exposition universelle de 1851).
Traité pratique de boulangerie, par Roland.
Un exemplaire de la collection d'organes de machines donnée au cours de M. Lecœuvre; 2° Deux années de vacances des élèves de deuxième et de troisième année, par M. Robert.
Vade-Mecum administratif de l'entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endres.

Mécanique.

Appareil aérohydrostatique de M. Seiler.
Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Calculs sur la sortie de vapeur dans les machines-locomotives, par M. Janneney.
Calculs sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduits de vapeur et de fumée, dans les machines-locomotives, par MM. E. Flachat et Petiet.
Calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges, par M. Albaret.
Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.
Condenseurs par surfaces, et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur, par M. Sébillot.

Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres ; suivi de la Construction de la vis d'Archimède, par M. Benoît Duportail.

Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines-locomotives, par MM. Couche et Resal.

Dyname (Le), par M. Boudsot.

Emploi de la houille dans les locomotives, et sur les machines à foyer fumivore du système Tinbrinck, par M. Couche.

Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.

Équilibre des voûtes. Examen historique et critique des principales théories, par M. Poncelet.

Engrenage à coin, par M. Minotto.

Études sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.

Études sur la ventilation, par M. le général Morin.

Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.

Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.

Foyer fumivore, par M. de Fontenay.

Foyer fumivore de M. Tenbrinck.

Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.

Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.

Locomotive de montagne, par M. Beugniot.

Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.

Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.

Machine locomotive articulée à douze roues couplées proposée par M. Rarchaert.

Machines à disques, par M. Rennie.

Machines de Marly, par M. Charles Prièz.

Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique), par M. Jules Gaudry.

Machine avec générateur à combustion comprimée de M. Pascal (Rapport sur la), par M. Colladon.

Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.

Machines-outils, par M. Chrétien.

Manége Pinet (Rapport sur le), par M. Pinet.

Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.

Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nicklès.

Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.

Notice sur un navire à hélice (*Le Chaptal*, construit par M. Cavé), par M. Jules Gaudry.

Notice historique sur l'emploi de l'air comprimé, par M. Gaugain.

Nouveau système de générateur, par M. Georges Scott's.

Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.

Propulsion atmosphérique, par M. Petiet.

Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.

Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.

Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.

Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1851), par M. le général Poncelet.

Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.

Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.

Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.

Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.

Résistance des matériaux, par M. le général Morin.

Ressorts en acier (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Phillips.

Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Phillips.

Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

Steam Boiler. Explosions.

Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.

Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.

Tachéométrie (Guide pratique de); par M. Joseph Porro.

Théorie de la coulisse, par M. Phillips.

Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, par M. Armengaud aîné.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.

Traité théorique et pratique des moteurs hydrauliques. par M. Armengaud aîné.

Transports des marchandises sur les canaux au moyen de la vapeur, par M. Dubied.

Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.

Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoit-Duportail.

Théorie analytique du gyroscope de M. L. Foucault, par M. Yvon-Villarceau.

Traction des bateaux fondée sur le principe de l'adhérence, par M. Beau de Rochas.

Traction des bateaux sur les canaux, par M. Bouquié.

Traction sur plans inclinés pour chemins de fer, par M. Agudio.

Mines et métallurgie.

Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.

Alliage des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.

Aluminium dans la métallurgie (Importance de l'), par M. Tissier.

Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines, par M. Amable Cavé.

Aperçu du travail des hauts fourneaux dans quelques États de l'Amérique du Sud, par M. Henri Fournel.

Avenir de l'exploitation des mines métalliques en France, par M. Petitgand.

Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.

Carbures de fer. En général, les fers impurs sont des dissolutions, par M. C.-E. Jullien.

Canaux souterrains et houillères de Worsley près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.

Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.

Coulées de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry et Cadiat.
Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, par M. Guettier.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication de l'acier en Angleterre, par M. Grateau.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fabrication des fontes d'hématite, par M. Jordan.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fonte Gruson avec album.
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et comp.), par M. Le Chatelier.
Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat aîné.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Métallurgie pratique, par M. D.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minerais d'étain exploités à la Villède, par M. Guettier.
Mines de houille de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand'Combe (Rapport sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Notice théorique et pratique sur l'injecteur automoteur propre à l'alimentation des chaudières à vapeur et l'élévation de l'eau, par M. Giffard.
Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Sondage à la corde (Notice), par M. Le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et Alexis Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Jullien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.

Ouvrages Périodiques.

Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales de la Construction, par M. Oppermann.
Annales Télégraphiques.
Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales du Conservatoire.
Annales de la Société des Ingénieurs industriels de Madrid.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers.
Bâtiments de chemins de fer, par Chabat.
Bulletins de la Société d'encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1861.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des Deux-Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Étienne.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Bulletins de la Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre.
Bulletins de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal *la Célébrité*.
Journal des Mines.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.
Portefeuille économique des Machines, par M. Oppermann.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des Mines et de la métallurgie.
Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
The Engineer (Journal).

Statistique et Législation.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.
Almanach et Annuaire des Bâtiments (1842).

Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Etudes sur les lois actuelles), par M. Damourette.
Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Emile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations française et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Bulletin de statistique des chemins de fer (septembre 1852).
Code des chemins de fer, par M. Cerclet.
Colonies agricoles (Études sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.
Comptes rendus des opérations des chemins de fer de l'État belge pendant les années 1840, 1842 et 1844 à 1861.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. H. Fournel.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.
Droit des inventeurs, par M. E. Barrault.
Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.
Études sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Étude sur le Cadastre des terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt foncier.. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.
Étude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.
Exposition de Londres de 1851. Compte rendu, par M. Lorentz.
Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
Loi des États-Unis sur les Inventions, par M. Émile Barrault.
Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Moyens financiers (Précis sur les chemins de fer de la France), par M. Cronier.
Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.
Organisation de l'École Polytechnique et pour les Ponts et Chaussées, par M. Vallée.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.
Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.
Observation sur le recrutement du corps des Ponts et Chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.
Patent Office (Rapport 1854).
Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.

Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.
Projet de loi sur les brevets.
Rachat des chemins de fer par l'État, par M. Poujard'hieu.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport sur les patentes des États-Unis, par le major Poussin.
Rapport adressé à M. le ministre des travaux publics en Belgique, et les chemins de fer en Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur la loi organique de l'enseignement.
Rapport sur l'inondation souterraine qui s'est produite dans les quartiers Nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.
Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchen.
Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements par M. Eugène Péreire.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

TABLE DES MATIÈRES.

Appareil servant à pénétrer sans danger dans tout lieu rempli de fumée ou de gaz délétères, par M. Tronquoy (Séance du 6 novembre). 387

Application des contre-poids aux locomotives, par M. Desmousseaux de Givré (Séance du 5 juin). 187

Bagues en fonte appliquées à la voie Vignole, par M. Desbrière (Séance du 5 juin) . . . . . 187 et 267

Catalogue des ouvrages composant la bibliothèque de la Société. 497

Charbons agglomérés. Fabrication des briquettes par la machine Jarlot, par M. Henri Mathieu (Séance du 4 septembre). 264

Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, par M. Molinos (Séance du 22 mai). 178

Comparaison entre deux tracés de chemin de fer avec un profil à inclinaison de $15^{m}/_{m}$, et un profil à inclinaison de $25^{m}/_{m}$, par M. Eugène Flachat (Séance du 22 mai). . . . . 91 et 182

Comparaison des propriétés résistantes du fer et de l'acier, par M. Brüll.. . . 70

Construction des grands tunnels, par M. Toni Fontenay, et observations de M. E. Flachat (Séance du 7 août). . . . . 192 et 258

Décès de MM. Petit de Coupray, Faure, J. Guibal, Steger, Thaurin, Ch. Brocchi, Delpech et Doyère (Séances des 23 janvier, 24 avril, 22 mai, 19 juin, 7 août et 16 octobre). . . . . 33, 167, 178, 189, 258 et 382

Distribution d'eau de Seine dans Paris au moyen d'un canal de dérivation entre Asnières et Besons, par MM. Sébillot et Mauguin (Séance du 8 mai). . . . 175

Durcissement des rails par la compression pendant le refroidissement, par MM. Sieber et Goschler (Séances des 8 mai, 5 juin et 20 nov.). 175, 183 et 389

Écluses à sas mobile, par M. Vuigner (Séances des 20 mars, 10 et 24 avril). . . . . 65, 159 et 167

Élections des Membres du Bureau et du Comité (Séance du 18 décembre). . . 402

Écoulement du gaz dans de longues conduites, par M. Arson (Séances des 4 septembre et 2 octobre). . . . . 266 et 378

Exposition agricole de Chartres (Séance du 8 mai). 175

Fonte malléable, par M. Brüll (Séance du 16 octobre). . . . . 382 et 403

Installation des nouveaux Membres du bureau et du comité (Séance du 9 janvier). 21

Liste générale des sociétaires. 5

Machines à élever l'eau dans les chemins de fer, par M. Chavès (Séance du 17 juillet) . . . . . 247 et 297

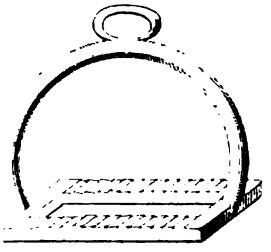
Navigation par la vapeur sur les canaux, par M. Faure (Séances des 6 et 20 février). . . . . 39 et 50

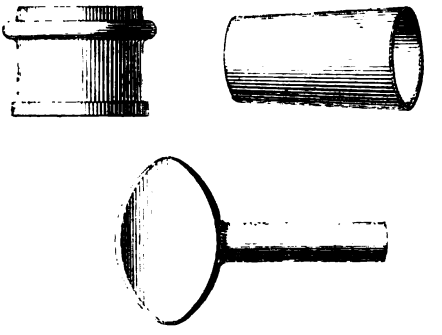
Nominations dans l'ordre de la Légion-d'Honneur : officiers, MM. E. Gouin et F. Mathieu; chevaliers, MM. Baudouin, Decaux, Giffard, Laboulaye, Laurent, Ch., Hubert, William, Durenne, Armengaud aîné, Hamoir, Castel, Molinos et Guillaume, Ch. (Séances des 23 janvier, 6 février, 20 mars, 4 septembre et 16 octobre). . . . . 33, 39, 64, 262 et 382
Niveau d'eau applicable aux locomotives de fortes rampes par M. Nozo (Séance du 17 juillet). . . . . 236 et 246
Perturbations occasionnées par les tremblements de terre sur certains forages, par M. Ch. Laurent (Séance du 7 août). 260
Prix proposés par la Société des ingénieurs autrichiens (Séance du 18 décembre). 399
Produit mixte de fer et d'acier fondu, par M. Verdier (Séance du 10 avril). . 159
Ressorts à boudin, par M. Revin (Séance du 24 avril). 170
Résumé du premier trimestre. 1
Résumé du deuxième trimestre. 153
Résumé du troisième trimestre. 241
Résumé du quatrième trimestre 373
Situation financière de la Société (Séances des 19 juin et 18 décembre). 194 et 401
Souscription en faveur des ouvriers cotonniers (Séance du 23 janvier). . . . 34
Statue de Napoléon Ier, par M. Gaudry (Séance du 6 novembre). 388
Tables des matières. 513
Tentatives de production et d'application des aciers fondus faites au chemin de fer du Nord (Séances des 23 janvier, 20 février, 6 et 20 mars, et 10 avril). 34, 52, 56, 65 et 160
Traction (nouveau système de) sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur funiculaire, de M. Thomas Agudio. Rapport par M. Molinos. 358
Traitement de résidus cuivreux, provenant des fabriques de nickel, par M. Boudard (Séance du 4 septembre). 262
Tirage artificiel dans les cheminées des locomotives, par MM. Geoffroy et Nozo (Séance du 4 décembre). . . . . 398 et 446
Traverses en tôle, par MM. Faliès et Chollet (Séance du 24 avril). . . 173 et 430
Usure et renouvellement des rails, par M. E. Flachat. 170

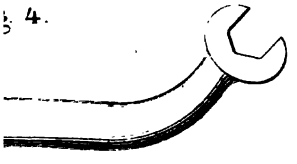
Paris. — Typ. de P.-A. Bourdier et Cie, rue Mazarine, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

Fig. 6.

Fig. 7.







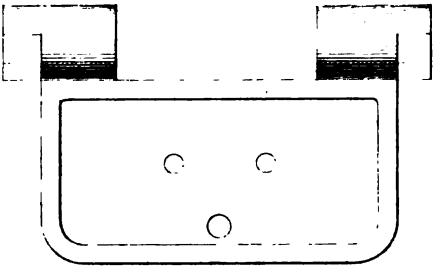
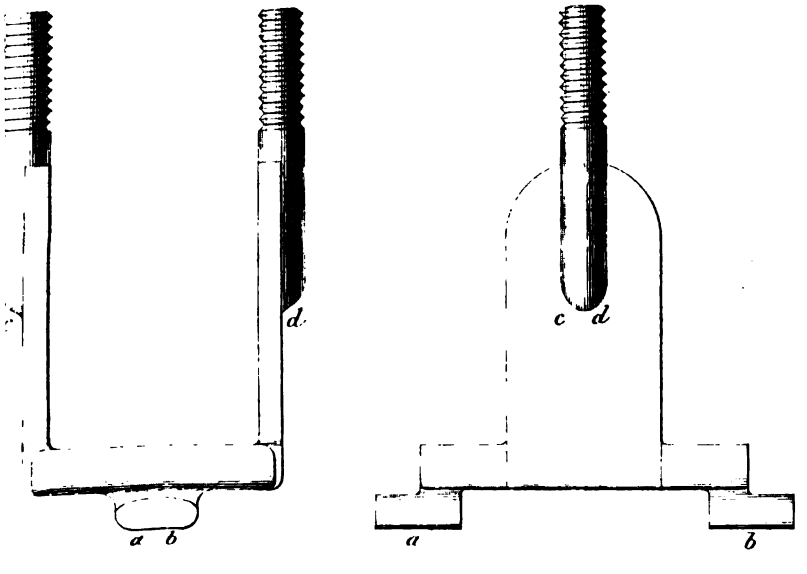
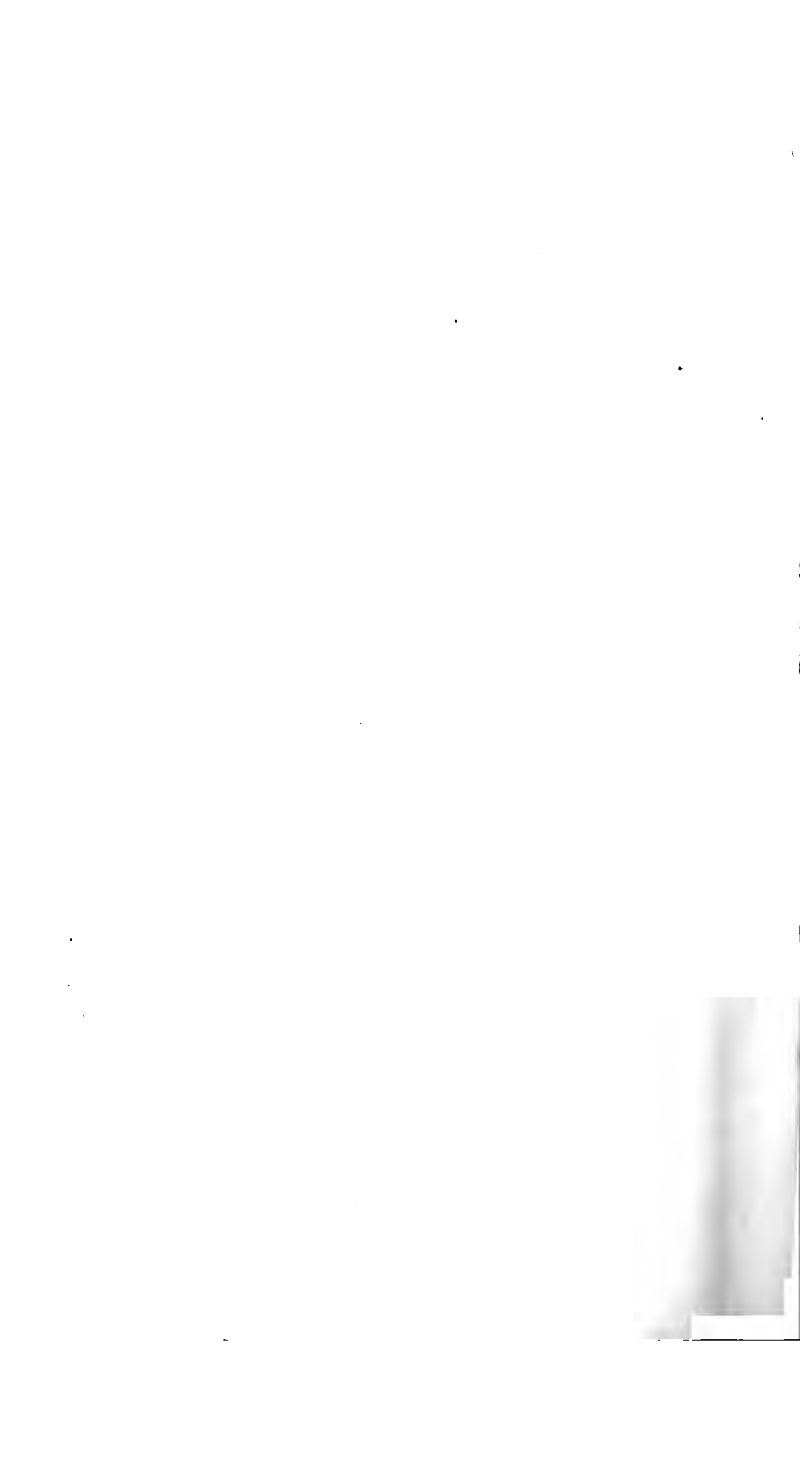


Fig. 8.

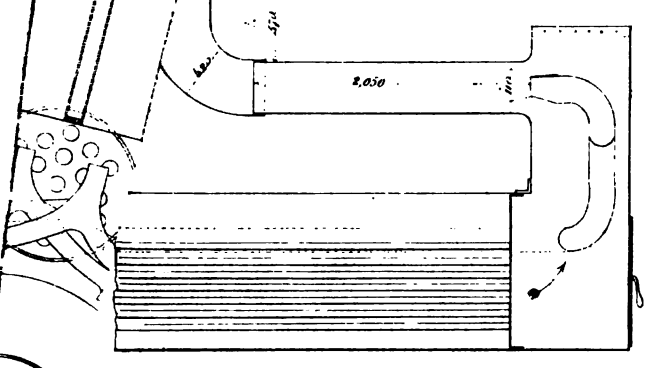


Etabl^t et imp^rie de Noblet et Baudry.



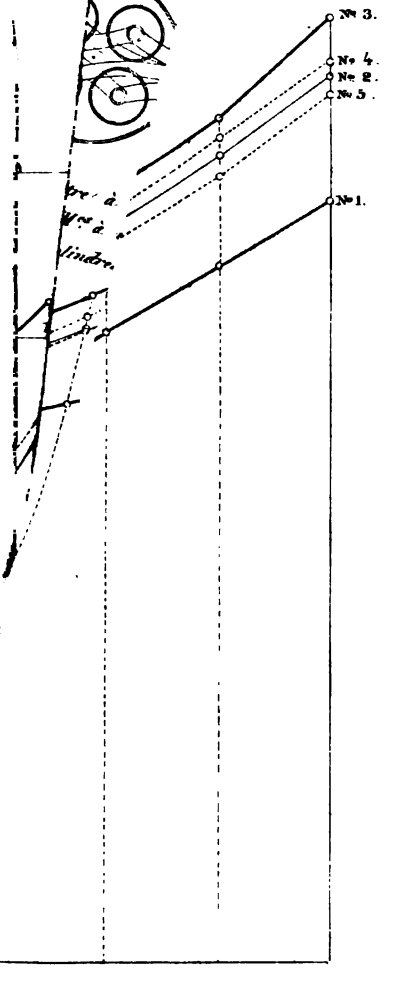
ltiple appliquée cuisine horizontale appliquée à la M.on 133

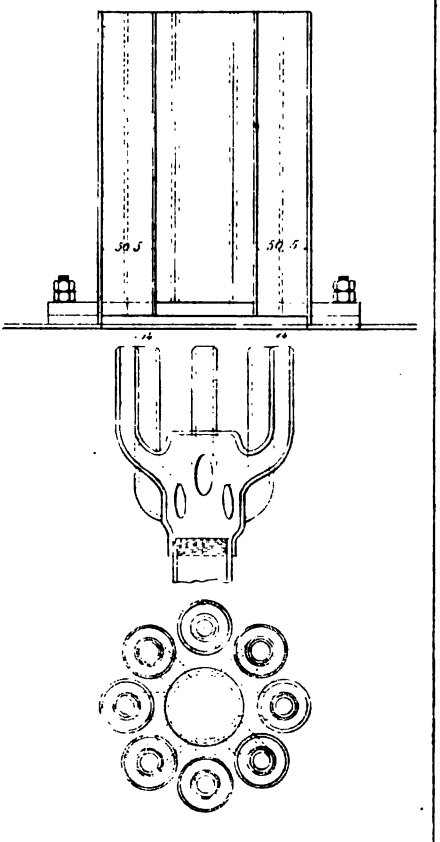
Fig. 5.



Expériences sur les cheminées multiples

Fig. 3.





Etabl.t et imp.ie de Noblet et Baudry.